

103 | 1962

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Thieme

### Zur Formgebung von Schiffsrudern

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

*Sonderabdruck aus*

**Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft**

**56. Band 1962**

Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg

Printed in Germany

---

**H. Thieme**

**Zur Formgebung von Schiffsrudern**

**Nicht im Handel**

Nachdruck ohne Genehmigung der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Hamburg, nicht gestattet

## **X. Nachtrag Hauptversammlung 1961 in Hamburg**

### **Zur Formgebung von Schiffsrudern**

Von Dipl.-Ing. H. Thieme, Hamburg

Ausgehend von den heutigen Gesichtspunkten zur Wahl von Größe und Anordnung von Schiffsrudern wird die zweckmäßige Profilierung von Leitkopf- und Balancerudern diskutiert. Neben einem rein optischen Vergleich gebräuchlicher und neu entwickelter Profile werden, soweit bisher nicht veröffentlicht, Profilaufmaße mitgeteilt. Zum Formvergleich werden auch die auf einem bekannten mathematischen Profildarstellungsverfahren beruhenden Formparameter verschiedener Ruderprofile gegenübergestellt. Ergebnisse von Vergleichsversuchen an einigen bekannten fremden Ruderprofilen und an Ruderprofilen, die im Institut für Schiffbau in den letzten Jahren entwickelt worden sind, zeigen, daß eindeutige Verbesserungen der Ruderwirksamkeit durch die neueren Profile sowohl bei Rückwärtsfahrt wie auch bei Voraussfahrt möglich sind; dies gilt auch für Bugrunder-Profile. Der experimentell bisher in Veröffentlichungen nicht belegte Einfluß des Dickenverhältnisses bei Plattenrudern wird durch eine weitere Versuchsreihe gezeigt. Zur Beleuchtung der Möglichkeiten, das Ruderprofil nachträglich in Wirksamkeit oder Balancierung zu verbessern, wird auf das Verfahren der Staukeilanordnung mit und ohne Profilkürzung eingegangen; aus einer gesonderten, experimentellen Untersuchung größeren Umfangs werden Beispiele referiert.

#### **A. Einführung**

Dank einer langjährigen Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und einer äußerst wirkungsvollen Zuwendung des Bundesministeriums für Verkehr konnten seit einer Reihe von Jahren am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg einige theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Eigenschaften von Rudern durchgeführt werden. Es konnte außerdem beobachtet werden, daß in dieser Zeit der Aufgabenkreis „Ruder- und Steuereigenschaften von Schiffen“ immer „moderner“ wurde. So konnte es leicht geschehen, daß diese Untersuchungen durch einen fruchtbaren Kontakt zu aktuellen Bedürfnissen einerseits und durch den Einfluß der an anderen Forschungsstellen zu ähnlichen Themen begonnenen Arbeiten andererseits nicht nur belebt, sondern auch verbreitert wurden. So kam es weniger zu einer Erledigung nacheinandergesetzter Einzelprobleme als vielmehr zu einer Arbeit auf breiter Front; es wird daher verständlich sein, daß die Untersuchungen als Ganzes noch nicht abgeschlossen sind und daß es auch unzweckmäßig ist, mit einer Berichterstattung bis zu diesem Abschluß zu warten. Gegenüber dem Stand der Dinge bei Beginn der Untersuchungen haben sich jedoch auf Grund der in manchen Einzelgebieten erzielten Ergebnisse eine Reihe von Erkenntnissen ergeben, die im Hinblick auf die praktische Anwendung von einigem Nutzen sein können. Der Gegenstand dieser Mitteilung stellt also ein Zwischenergebnis dar, das die bisher mitgeteilten Zwischenergebnisse, [1] und [2], und die etwa gleichzeitigen Zwischenergebnisse, [20] und [30], thematisch ergänzen soll. Es muß daher an dieser Stelle um Nachsicht gebeten werden, wenn der Zeitpunkt dieser Mitteilung im Hinblick auf das Ganze als zu früh und im Hinblick auf manche Detailergebnisse als zu spät erscheinen mag.

Da der Aufbau der für solche und ähnliche experimentelle Untersuchungen in Betracht kommenden Einrichtungen am Institut für Schiffbau auch z. Zt. noch nicht abgeschlossen ist, war für die technische Durchführung der hier mitgeteilten Untersuchungen mancher Kompromiß zu schließen. Von den Mitarbeitern des Instituts ist insbesondere den Herren Böhme, Thiemann und Malzahn zu danken, daß hierdurch die Qualität der Versuchsergebnisse nicht beeinträchtigt worden ist.

#### **B. Gesichtspunkte der Anordnung und der konstruktiven Ausführung**

Beim Entwurf von Schiffsrudern denkt man natürlicherweise zunächst an die Festlegung der Flächengröße. Als Folge der Propelleranordnung und bestimmter echter — oder vermeintlicher — Erfordernisse für die Manöviereigenschaften ergibt sich dann im Zusammenhang mit der vorge-

wählten Flächengröße mehr oder weniger zwangsläufig auch die Zuordnung des Ruders bzw. der Ruder zum Schiff und insbesondere zum Antrieb. Nach dieser Festlegung bleibt nur noch ein relativ enger Spielraum für die Wahl des Ruderseitenverhältnisses ( $A_R = H_R^2/A_L$ ), den Flächenumriß und den Rudertyp. Bei diesen letztgenannten Entscheidungen spielen oftmals konstruktive und betriebliche Überlegungen eine entscheidende Rolle und die Aufgabe des hydromechanischen Entwurfes liegt nur noch darin, die konstruktiven Bedingungen im Hinblick auf die hydrodynamische Wirksamkeit so gut wie möglich zu verkräften. Sieht man von den Bemühungen der „hydrodynamischen Behandlungen“ unerwünschter Wirkungen horizontaler Spalte und den seltenen Anlässen zur Anordnung von Endscheiben und Zwischenscheiben einmal ab, so verbleibt für diese hydrodynamische Aufgabe die Profilierung des Ruders als einziges Gestaltungselement.

Die zuletzt genannte Aufgabe stellt daher auch den Kern dieser Mitteilung dar. Um sie im Zusammenhang zu sehen, soll vorweg jedoch auch auf die anderen genannten Aufgaben der Formgebung von Schiffsrudern eingegangen werden.

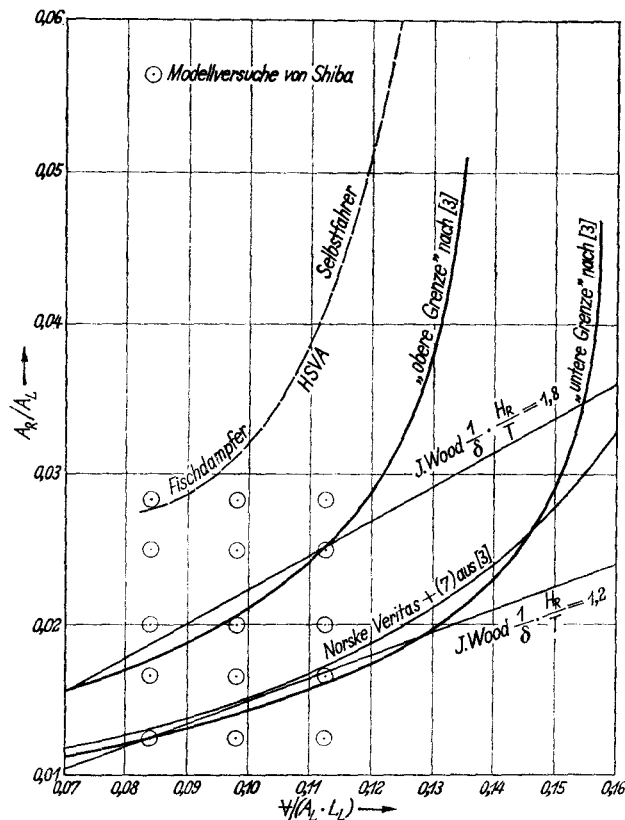


Bild 1. Mindestrundergrößen zur Erzielung von Kursstetigkeit

Zur Wahl der Ruderflächen-Größe verwendet man auch heute noch — wohl fast ausschließlich — statistische Unterlagen. Es kann hierbei auf die Literaturstellen [3], [4], [6], [7], [8] und [9] verwiesen werden. Diese Quellen geben — wie man sagen möchte — in „üblicher Weise“ die Ruderfläche als Prozentsatz der Laterallfläche ( $A_R/A_L$ ) als Funktion vom Schiffstyp bzw. von der auf Laterallfläche  $A_L$  und Laterallänge  $L_L$  bezogenen Raumverdrängung  $V$  an. Die für „normale“ Handelsschiffe gedachten Ergebnisse von [3] und [4] sind in Bild 1 erneut dargestellt. Sie sind im Mittel untereinander und auch mit den Angaben von [6] bis [8] verträglich. Diesen vorgenannten Angaben liegt das praktische Erforderniszugrunde, Schiffe mit einem hohen Wert  $V/(A_L \cdot L_L)$  mit einer für die Kursstetigkeit ausreichend großen Ruderfläche zu versehen. Bei Schiffen mit kleinen Werten  $V/(A_L \cdot L_L)$  dagegen würde sich bei diesem Dimensionierungsgesichtspunkt eine ungewöhnlich kleine Ruderfläche ergeben; als Folge davon erhielte man zwar Kursstetigkeit des Schiffes, aber einen ungewöhnlich großen Drehkreisradius. Damit sind also die beiden für den praktischen Schiffsbetrieb interessantesten

Steuereigenschaften eines Schiffes angesprochen worden. Häufig wird nur von dem Drehkreisradius schlechthin gesprochen; man versteht unausgesprochenerweise hierunter dann den engsten Drehkreisradius oder genauer gesagt, den Drehkreisradius bei etwa  $35^\circ$  Ruderlage. In Bild 2 ist dies dimensionslos als „Drehung“ ( $L_L/R$ )<sub>35</sub> dargestellt. Dieser Drehkreisradius ist im Gegensatz zur vorerwähnten Kursstetigkeit eine anschauliche und auch relativ leicht kontrollierbare Eigenschaft eines jeden Schiffes, die zumindest einen sehr guten Anhaltspunkt zur Beurteilung seines Verhaltens bietet. Es lassen sich in jedem speziellen Fall leicht zu begründende Forderungen für seine Größe aufstellen. Ganz anders bei der Kursstetigkeit. Hier sind sich z. Zt. noch nicht einmal die engeren Fachspezialisten über die Definition geschweige denn über die „richtige Bemessung“ einig. Weitgehend unbestritten ist jedoch, daß ein richtiges Schiff kursstetig sein muß. Aber bereits die Frage, ob ein Schiff von Natur aus, d. h. ohne Automatik, kursstetig sein muß, oder ob es ausreichend sein kann, daß eine Automatik „nachhilft“, wird noch keineswegs einhellig beurteilt. Zweifellos sollte man aber

die Eigenschaft Kursstetigkeit in ihrer Bedeutung an die erste Stelle aller Steuereigenschaften eines Schiffes setzen; schließlich soll ein Schiff ja in erster Linie in der Lage sein, einen festen Kurs in wirtschaftlicher Weise einzuhalten und erst in zweiter Linie wird man Forderungen über die Qualitäten, diesen Kurs zu ändern, aufstellen können. Im Hinblick hierauf kann es etwas verwundern, daß in [10] und [11] statistisches Material zur Wahl der Rudergröße als Funktion des gewünschten Drehkreisradius angeboten wird. (Vgl. Bild 2). Der Grund für dieses vielleicht nicht ganz logisch erscheinende Verfahren dürfte wohl allein in dem Reiz der besseren Anschaulichkeit des Drehkreisradius gegenüber der Kursstetigkeit bestehen. Vielleicht waren diese Verfahren auch ursprünglich mehr so gedacht, bei gegebenem Schiff mit gegebener Ruderfläche den zu erwartenden Drehkreisradius nach statistischem Material bzw. angepaßten theoretischen Überlegungen zu bestimmen, wie es in [12] bis [14] auch deutlicher ausgedrückt ist.

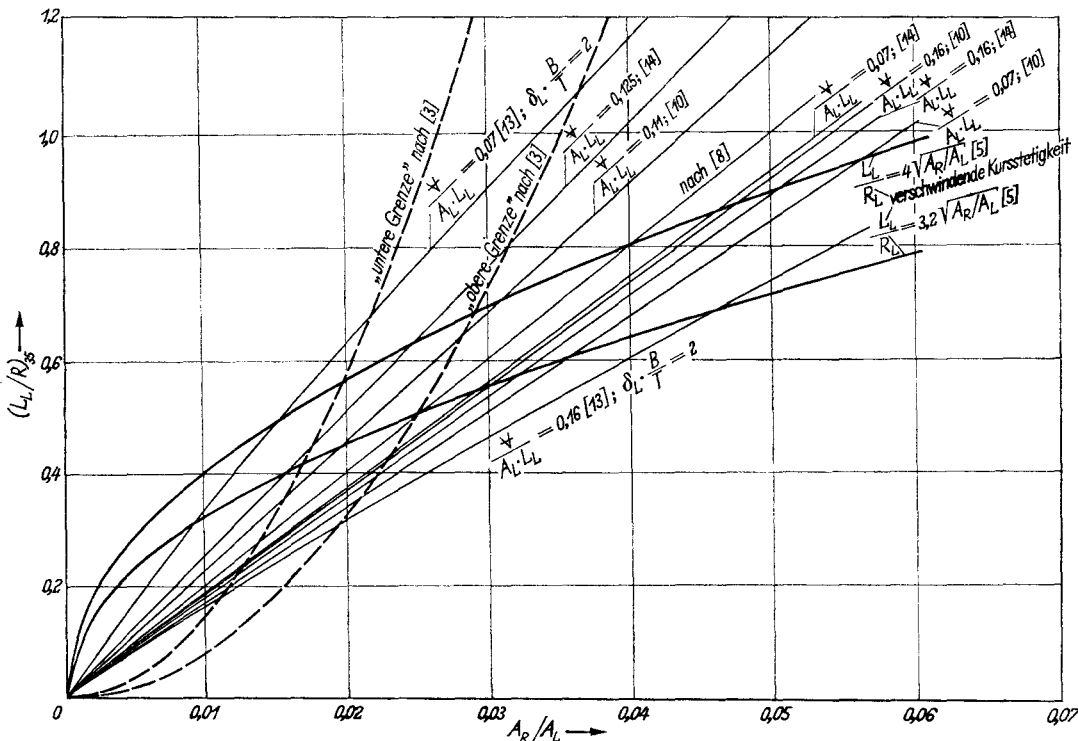


Bild 2. Rudergröße und Drehfähigkeit bei 35° Ruderlage

In Bild 1 und 2 sind nun auf Grund der vorerwähnten Unterlagen, einer zusätzlichen persönlichen Mitteilung der H.S.V.A. über bewährte Rudergrößen von Fischdampfern und Binnenschiffen (Selbstfahrern) und qualitativer Ableitungen aus den in [5] enthaltenen theoretischen Grundlagen zwei Schaubilder gegeben, die dazu dienen sollen, die Rudergröße einmal als Funktion des bereits genannten „mittleren Breiten-Längenverhältnisses“

$$\frac{V}{A_L \cdot L_L} = \frac{\delta_L \cdot L_L \cdot B \cdot T}{\tau \cdot L_{WL} \cdot T \cdot L_L} = \frac{\delta_L}{\tau} \cdot \frac{B}{L_{WL}}$$

für vorgegebene konstante bzw. für statistische Kursstetigkeit festzulegen, und die zum anderen erkennen lassen sollen, welche Drehkreisradien sich bei dieser Auswahl zwanglos ergeben. Außerdem kann abgeschätzt werden, welche Ruderflächenveränderung über bzw. unter das kursstetigkeitsbedingte Maß nötig ist, um eine entsprechende Veränderung des Drehkreisradius erwarten zu dürfen. Letzterem sollen die statistischen Angaben von Polonski [8], Schoenherr [10] und Laube [14], die sich mit den Rechenergebnissen von Schmitz [13] gut decken, dienen (Bild 2). Die aus [3] übernommene Statistik hat einen völlig anderen Charakter, sie zeigt implizit bereits die Festlegung von  $A_R/A_L$  als Funktion von  $V/(A_L \cdot L_L)$  und ist also nicht zur Beurteilung nachträglicher Rudergrößenänderungen geeignet. Auch die beiden Kurven nach [5] enthalten

bereits eine implizite Festlegung, nämlich die, daß die Rudergröße immer so gewählt wird, daß die Kursstetigkeit gerade verschwindet, also Kurslabilität herrscht. Weiter sollte Bild 2 für Werte kleiner als  $A_R/A_L = 0,01$  und Werte  $(L_L/R)_{35}$  größer als etwa 1,2 nicht mehr verwendet werden. Bei jedem normalen Schiff führt eine starke Verkleinerung der Ruderfläche gegen Null keineswegs auch zu einer gegen Null gehenden stärksten Drehung; selbst ohne Ruder ergibt sich immer noch ein endlicher Drehkreis. Umgekehrt bringt bei festgelegtem Ruderwinkel von  $35^\circ$  eine beliebige Vergrößerung der Ruderfläche keineswegs mehr eine Verstärkung der erzielbaren Drehung. Wie in [5] gezeigt, ist eine Drehung von etwa 1,2 praktisch schon der asymptotische Grenzwert für unendlich großes Ruder.

In Bild 1 und Bild 2 ist die Ruderflächengröße als augenfälliges Kriterium sowohl zur Erlangung von Drehfähigkeit wie auch von Kursstetigkeit und damit gekoppelt auch zur Sicherstellung von Stützfähigkeit des Schiffes ausgewiesen. Natürlich ist dies eine zwar übliche aber nichtsdestoweniger grobe Vereinfachung der wirklichen Zusammenhänge. Es soll darum ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß auch die Dimensionierung des Totholzes vor dem Propeller wie auch die Anordnung von feststehenden Flossen hinter dem Propeller im Zusammenhang mit dem Ruder oder auch gesondert davon in Betracht gezogen werden soll, wenn gewisse Eigenschaften des Schiffes geschaffen oder verändert werden sollen. Dabei sind diese Maßnahmen nicht etwa gleichwertig untereinander. Eine Vermehrung von Totholz bedeutet etwas ganz anderes als eine Vergrößerung der Ruderfläche oder eine zusätzliche Anordnung von festen Flossen. Es sei auch auf die Gefahren des heute so beliebten Wegschneiden des Totholzes hingewiesen; die bei Glattwasser wohl vorhandene Äquivalenz von Totholzfläche und Rudervergrößerung in bezug auf die Kursstetigkeit geht z. B. im nachlaufenden Seegang leicht verloren. Diese Gefahr des Wegschneidens von Totholz verstärkt sich noch, wenn — wie üblich — die Flächen von Kiel- oder Schlingerkielen äußerst knapp bemessen werden. Zu leicht wird vergessen, daß die Kiele nicht nur der Rollstabilisierung sondern ebenso auch der Verbesserung der Kursstetigkeitszunahme dienen, in dem sie das aus dem Kurs Laufen dämpfen.

Ein weiterer Umstand ist in den oben erwähnten statistischen bzw. vereinfachten rechnerischen Ergebnissen einerseits implizit enthalten andererseits nicht verfeinert berücksichtigt. Das ist die Wirkung des bei gegebenem Schiff mit der Rudergröße veränderlichen Ruderseitenverhältnisses.

$$A_R = \left( \frac{H_R}{T} \right)^2 \cdot \frac{\frac{A_L}{2}}{A_R/A_L} = \left( \frac{H_R}{T} \right)^2 \cdot \frac{\frac{V}{A_L \cdot L_L}}{\frac{B}{T} \cdot \delta_L \cdot A_R/A_L} \quad (1)$$

Das Verhältnis von Ruderhöhe  $H_R$  zum Tiefgang  $T$  ist meist grundsätzlich konstruktiv bedingt und liegt — statistisch nach Schiffstypen sortiert — bei

$$(H_R/T)^2 = 0,3 \text{ bis } 0,7 \text{ bis } 0,8.$$

Schließt man nun Extremfälle wie z.B. alte Flußschlepper oder alte Segelschiffe aus, so erhält man nach (1) immer noch einen Streubereich der Ruderseitenverhältnisse  $A_R$  von 0,7 für kurze volle Schiffe mit großen Ruderflächen bis zu 2,5 für lange, schlanke Schiffe mit entsprechend kleinen Ruderflächen. Allein vom Seitenverhältnis her ist aber die Ruder-Anfangswirksamkeit beim größeren Seitenverhältnis etwa doppelt so hoch wie beim kleineren Seitenverhältnis. Andererseits haben die kleineren Seitenverhältnisse etwa um 60 v. H. größere Wirkung beim Maximalausschlag des Ruders. So wird einerseits die Kursstetigkeit andererseits die Dreh- und Stützfähigkeit durchaus durch die Wahl eines Ruderseitenverhältnisses zu beeinflussen sein. Praktisch auszunutzen sind diese Effekte aber nur beim Übergang zur Mehrflächenanordnung.

Während, wie oben ausgeführt, das Ruderseitenverhältnis die Wirksamkeit des Ruders erheblich beeinflußt, rein optisch aber meist gar nicht so auffällig ist, ist es beim Umrißcharakter gerade umgekehrt. Hier springt die Umrißausführung als Rechtekruder oder als Trapezruder, in heute seltenen Fällen auch als gebrochenes Trapez oder als Ellipse, meist sofort ins Auge. Die hydrodynamische Wirkung auf grundlegende Eigenschaften wie Kursstetigkeit und Drehfähigkeit ist jedoch äußerst gering. Eher sind durch eine solche Formgebung die Ausbrechneigung beim Volj Voraus oder Voll Rückwärts aus dem Stand zu beeinflussen. Jedoch ist diese Möglichkeit offensichtlich nicht interessant genug, die allgemeine Tendenz zum Trapezruder abzubremsen, denn gerade das Trapezruder verstärkt gegenüber dem Rechtekruder oder noch besser dem Voll-ellipsenruder diese Ausbrechneigung. Hydrodynamisch ist im übrigen das Trapezruder wegen

seiner ungünstigen Druckverteilung dem Rechteckruder etwas unterlegen. Eine Überlegenheit ergäbe sich nur für das unsymmetrische Doppeltrapezruder, dessen Ruderoberkante wieder etwas kürzer als die größte Ruderlänge sein müßte. Auch die statischen Vorzüge des Trapezes beim Spatenruder werden überschätzt, da das Kraftangriffsmittel für das Schaftbiegemoment nicht etwa im Flächenschwerpunkt sondern immer etwas darunter liegt. Nach bewährter Faustregel von Schrenk liegt dieses Zentrum zwischen dem wirklichen Flächenschwerpunkt und dem Flächenschwerpunkt der flächengleichen Vollellipse gleicher Höhenlage und Höhe. Gegenüber dem Rechteckruder tritt also der optische Effekt der Biegemomentverringerung durch die Trapezform in Wirklichkeit nur zur Hälfte ein. Bei Beachtung dieses Umstandes könnten wohl in vielen Fällen die einfachere Bauweise und die gewisse hydrodynamische Verbesserung beim Rechteckruder den Kompromiß in dieser Richtung beeinflussen. Natürlich verlangt das Rechteckruder gegenüber dem Trapezruder aus statischen Gründen eine größere relative Profildicke. Geht man beispielsweise von einem schon recht starken Trapezverhältnis der Unterkantenlänge  $L_{uR}$  zur Oberkantenlänge  $L_{oR}$  von  $2/3$  aus, so verlangt das Flächengleiche Rechteckruder eine um etwas mehr als 20-prozentige Erhöhung der relativen Profildicke, also von etwa  $B/L = 0,20$  beim Trapezruder auf  $B/L = 0,25$  beim entsprechenden Rechteckruder. Die hier mitgeteilten Versuchsergebnisse dürften eine solche Steigerung der Profildicke aber durchaus begünstigen.

Beim hydrodynamischen Vergleich von Trapezruder und Rechteckruder, wie er sich praktisch bei der Bildung der bekannten Beizahlen für Kraftkomponenten und Moment ausdrückt, ist zu beachten, daß beim Trapezruder als Länge zur Bildung des Momentkoeffizienten die „Laterallänge“ des Ruders zu verwenden ist, die sich geometrisch einfach aus der grundsätzlichen Beziehung

$$L_{LR} = \frac{1}{A_R} \int_0^{H_R} L_{Rz}^2 \cdot dz \quad (2)$$

beim Trapezruder zu

$$\frac{L_{LR}}{L_{oR}} = \frac{2}{3} \left( \frac{L_{uR}}{L_{oR}} + \frac{I}{I + L_{uR}/L_{oR}} \right) \quad (3)$$

und beim elliptischen Ruderumriß zu

$$\frac{L_{LR}}{L_{oR}} = \frac{8}{3\pi} = 0,8488 \quad (4)$$

ergibt. Es ist dabei zu erkennen, daß die Rechteckform grundsätzlich immer das kleinere Rudermoment ergeben muß, da die Laterallängen  $L_{LR}$  bei Trapez und Ellipse immer etwas größer — wengleich bei praktischen Formen nur geringfügig — als die flächenmäßig mittlere Ruderlänge, die ja zugleich die Laterallänge beim Rechteckruder ist, herauskommt.

Nicht nur statische sondern vor allem auch konstruktive und betriebliche Gesichtspunkte bestimmen die Art der Ruderverlagerung und damit als Folge auch wieder die Wahl des Rudertyps. Fragen der bequemen Ausbaufähigkeit, der Verwendung von Wälzlagern oder Gleitlagern entscheiden meist, ob ein Vollscheiberuder oder ein Halbbalanceruder gewählt wird. Wengleich in dieser Mitteilung experimentell noch nicht berücksichtigt soll dennoch angesprochen werden, daß es noch erheblicher Bemühungen in der Ruderformgebung bedarf, um die grundsätzliche hydrodynamische Unterlegenheit des Halbbalanceruders auszugleichen oder wenigstens zu mildern. Die — vom normalen Balanceruder aus gesehen — andere Sonderform des Ruders, das durchgehende Ruder mit durchgehendem Leitkopf und hier kurz als Leitkopfruder bezeichnet, hat zwar in letzter Zeit an Aktualität etwas verloren, gibt aber weitaus bessere Möglichkeiten zu einer hydrodynamisch befriedigenden Formgebung (Bild 7). Allen Ruderformen gemeinsam aber ist das konstruktive und betriebliche Interesse, die Ruderdrehschachs-Lage so zu wählen, daß bei normalem Vorauszustand die Rudernullage hinsichtlich des Rudermomentenverlaufes ein stabiler Zustand ist, um Flattern, Geräusch und zusätzliche Lagerbeanspruchungen zu vermeiden. Diesen Wünschen durch eine weit vorn liegende Drehachse nachzukommen, verbietet sich leider durch die dann stark anwachsenden Rudermomente beim maximalen Ruderlegen und bei Beanspruchungen im Seegang. Glücklicherweise ergibt die Einwirkung des Schraubenstrahlendralls eine Verschiebung des Druckmittels nach hinten, was bei Verwendung von Messungen ohne Propeller zu berücksichtigen ist. Unabhängig davon besteht aber die konstruktiv bedingte Aufgabe, Profilverformen zu entwickeln, die möglichst weit zurück liegende Druckmittel bereits vom Profil aus haben,

wie dies bei den hier mitgeteilten Messungen an neu entwickelten Profilen tatsächlich in gewissem Masse gelungen ist. Unabhängig davon bzw. zusätzlich sollen Versuche durch „künstliche“ Maßnahmen wie Absaugung [1] weiter vorangetrieben werden.

### C. Hydromechanische Gesichtspunkte

Die hydromechanischen Gesichtspunkte sollen die konstruktiven ergänzen. Eine wirksame Arbeit zur Entwicklung von guten Ruderformen soll alle konstruktiven Forderungen und Wünsche aufmerksam verfolgen und daraus Anregungen entnehmen, ohne diese jedoch ohne weiteres als Grundbedingung jeglichen Formentwurfes zu machen. Die hydrodynamische Ruderentwicklung muß einen ausreichenden Spielraum rein hydrodynamischer Gesichtspunkte behalten, damit nicht etwa wichtige und ausbaufähige Effekte, die später in abgewandelter Form sogar konstruktiv möglich werden, von Anfang an ausgeschlossen werden. Weiterhin sollen nicht nur konstruktiv mögliche und hydrodynamisch gute Formen als Rosinen aus einer Entwicklung vorgestellt werden. Auch konstruktiv noch befremdliche und sogar auch hydrodynamisch unbefriedigende Formen können interessante Aufschlüsse geben und so zu brauchbaren Grundlagen weiterer Entwicklung werden. So wird hier nicht nur über das konstruktiv wegen seiner dicken Hinterkante gut mögliche und hydrodynamisch durchaus „fortgeschrittene“ Ruder mit dem Profil JfS 58 TR 25 (die letzte Zahl gibt die größte relative Dicke in Prozent an) (Bild 11) berichtet. Auch das hydrodynamisch noch bessere Profil JfS 62 TR 25 (Bild 11) wird vorgestellt, das in dieser Form wegen

seines sehr dünnen Profilschwanzes konstruktiv sicherlich nicht beliebt werden wird. Es wird auch die in einer früheren Untersuchung [2] als hydrodynamisch schlecht nachgewiesenen Form einer dicken, vorn und hinten zugeschärften Platte (Bild 13) und die ebenfalls schlechte, neu untersuchte Platte als Bugrunder JfS 57 BR 15 (Bild 12) nicht verschwiegen. Auch vor einer etwas skurilen Form wie JfS 59 BR 15 oder JfS 54 BR 15 (Bild 12) sollte man sich nicht scheuen, wenn diese noch dazu gebräuchlicheren Bugrunderformen hydrodynamisch überlegen sind.

Die grundlegenden hydromechanischen Gesichtspunkte für die Beurteilung der Güte eines Ruders muß natürlich die Aufgabe des Ruders am Schiff liefern. Die hier mitgeteilten Versuchsergebnisse besitzen eine unmittelbare Anwendbarkeit auf ein in Geradeausfahrt befindliches

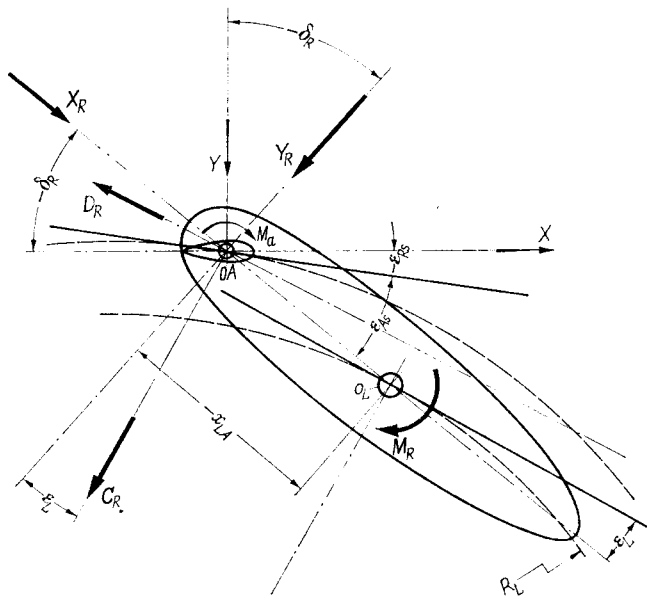


Bild 3. Ruderwirkung am drehenden Schiff

Schiff. Üblicherweise sieht man solche Art Ergebnisse als entscheidend für die gesamten Aufgaben des Ruders am Schiff an, obwohl Ruderwirkung bei Geradeausfahrt immer nur einem momentanen und noch verhältnismäßig schwachen Effekt entsprechen kann. Zumindest ergänzend sollte man auch die dann ja meist stärkerer Ruderwirkung am drehenden Schiff (Bild 3) betrachten. In Bild 3 sind schematisch die hydromechanisch interessanten Driftwinkel am Lateralschwerpunkt,  $\epsilon_L$ , an der Ruderachse,  $\epsilon_{As}$ , und für das um  $-\delta_R$  ausgeschlagene Ruder,  $-\epsilon_{Rs}$  eingezeichnet. Die Ruderkräfte sind dargestellt einmal als Ruderlängskraft  $X$  und Ruderseitenkraft  $Y$  und Ruderschiffmoment  $M_a$ , zum anderen als Ruderbeitrag zur Schiffslängskraft  $X_R$ , zur Schiffsseitenkraft  $Y_R$  und zum Giermoment um die Lateralschwerpunkts-Hochachse  $M_R$ ; die Ruderbeiträge zur Schiffswiderstand und zum Schiffswiderstand sind  $C_R$  und  $D_R$ . Die hydromechanisch interessanten Effekte des Ruders auf das Schiff als ganzes sind die für den Beitrag  $M_R$  entscheidende Steuerkraft  $Y_R$ , die also die Drehung des Schiffes bewirkt, der Beitrag des Ruders zum Schleppleistungsbedarf des Schiffes  $N_R$ , der maßgebend ist für den Fahrtverlust im Drehkreis, und schließlich der Beitrag zur Schiffswiderstand  $C_R$ . Der Beitrag zur Schiffswiderstand wirkt sich nur

sehr mittelbar auf die Steuereigenschaften des Schiffes aus und ist zum andern kaum unabhängig von der Steuerkraft zu beeinflussen, sodaß er hier nicht weiter verfolgt werden soll. Für die Steuerkraft läßt sich aus Bild 3 leicht ein Zusammenhang mit auf Ruderachsen bezogenen Kraftkomponenten gewinnen.

$$c_{YRr} = c_Y \cdot \cos \delta_R + c_X \cdot \sin \delta_R \quad (5)$$

Dabei ist gleich die übliche (vgl. Abschnitt J.) dimensionslose Form eingeführt. Bei der Beizahl für den Schleppleistungsbedarf ist in (6) der gegenüber dem Steuermoment  $M_R$  unbedeutende Beitrag des Schaftmomentes  $M_a$  vernachlässigt worden.

$$c_{NRr} = c_Y \sin(\varepsilon_L + \delta_R) - c_X \cdot \cos(\varepsilon_L + \delta_R) - \frac{L}{R_L} \cdot \frac{x_{LA}}{L_L} \cdot c_{YRr} \quad (6)$$

Bei Geradeausfahrt ist das  $c_{YRr}$  nach (5) genau gleich der Querkraftbeizahl des Ruders, wie es als  $c_C$  in Abschnitt F. bei den Windkanalversuchsergebnissen mitgeteilt ist; das  $c_{NRr}$  nach (6) wird bei Geradeausfahrt gleich der Ruderwiderstandsbeizahl  $c_D$  aus Abschnitt F. In diesem Falle stimmt die in Abschnitt F. ganz allgemein als  $\varepsilon$  bezeichnete Schräganströmung des Ruders mit dem Ruderausschlagwinkel  $\delta_R$  überein. Es sei hier erinnert, daß entsprechend den unter Abschnitt J. gegebenen Definitionen der Symbole zu einer positiven Drehung  $L_L/R_L$  des Schiffes die Rudelage im Sinne der Drehung negativ zu zählen ist.

Weiter ergibt sich beim drehenden Schiff entsprechend Bild 3 die rein geometrisch bestimmte Zuströmung am Ort der Ruderachse  $\varepsilon_A$  zu

$$\tan \varepsilon_{As} = \tan \varepsilon_L + \left( \frac{-x_{LA}}{L_L} \right) \frac{L_L/R_L}{\cos \varepsilon_L} \quad (7)$$

Für die Ermittlung der zirkulationsbedingten Ruderquerkraft — nach [5] durch den Index „w“ gekennzeichnet — ist der hydrodynamisch wirksame Anströmwinkel bei der Ruderachse  $\varepsilon_{Aw}$  jedoch um etwa die Größe des Driftwinkels am Lateralschwerpunkt  $\varepsilon_L$  zu verringern.

$$\tan \varepsilon_{Aw} = \left( \frac{x_{LA}}{L_L} \right) \cdot \frac{L_L/R_L}{\cos \varepsilon_L} \quad (8)$$

So ergibt sich leider das experimentell durchaus gestützte theoretische Ergebnis, daß die zirkulationsbedingten sogenannten linearen oder „Wasserlinien“-Anteile der Ruderkräfte Funktionen des Ruderanströmwinkels

$$\varepsilon_{Rw} = \delta_R + \arctan \left[ \frac{-x_{LA}}{L_L} \cdot \frac{L_L/R_L}{\cos \varepsilon_L} \right] \quad (9)$$

sind, während die sogenannten nichtlinearen oder „Spant“-Anteile der Ruderkräfte Funktionen des rein geometrischen Ruderanströmwinkels

$$\varepsilon_{Rs} = \delta_R + \arctan \left[ \tan \varepsilon_L + \frac{-x_{LA}}{L_L} \cdot \frac{L_L/R_L}{\cos \varepsilon_L} \right] \quad (10)$$

bleiben. Die unvermeidbare Folge hiervon ist, daß der Zusammenhang von Ruderschräganströmung und Ruderkraftkomponenten (Ruderpolare) sich mit der Schiffsdrehung etwas verändert. Es müssen also entweder auch Rudermessungen hinter dem drehenden Schiff oder Schiffsmodell gemacht werden, oder die Ruder-Geradeausfahrtmessungen müssen in gewisser Weise auf die Drehkreisfahrt umgerechnet werden. Hierzu kann man auf das in [5] berührte und näher nachgewiesene Verfahren zur Berechnung von nichtlinearen Ruderkräften zurückgreifen. Ausreichend genau kann der Einfluß auf das in (5) und (6) benötigte  $c_X$  außer Ansatz gelassen werden. In vereinfachter Darstellung berechnet sich das  $c_Y$  nach (11).

$$c_Y = c_{wc} \cdot \varepsilon_{Rw} + c_{sc} \cdot \varepsilon_{Rs}^2 \cdot \frac{\varepsilon_{Rs}}{|\varepsilon_{Rs}|} \quad (11)$$

Damit erhält man näherungsweise

$$\varepsilon_{Rs} = \delta_R + \frac{1}{2} \frac{L_L}{R_L} + \varepsilon_L = \varepsilon_{Rw} + \varepsilon_L \quad (12)$$

schließlich als Korrekturformel

$$\begin{aligned} c_Y &= c_Y \text{ (bei } \varepsilon = \varepsilon_{Rw}) + c_{sc} \cdot (2\varepsilon_{Rw} \cdot \varepsilon_L + \varepsilon_L^2) \\ c_X &= c_X \text{ (bei } \varepsilon = \varepsilon_{Rw}) \end{aligned} \quad (13)$$

Dabei ist der Koeffizient  $c_{se}$  als Gradient des nichtlinearen Anteils auch aus den Messungen bei Geradeausfahrt zu bestimmen. Zur Umrechnung der Geradeausfahrt-Messungen auf Drehkreisfahrt muß natürlich auch Driftwinkel und der zugehörige Ruderausschlag bekannt sein. Eine absolute Normierung ist da natürlich nicht möglich. Doch sind für die hier in Abschnitt F. angestellten Vergleiche Ergebnisse von Shiba [15] herangezogen worden, die vergleichenermaßen

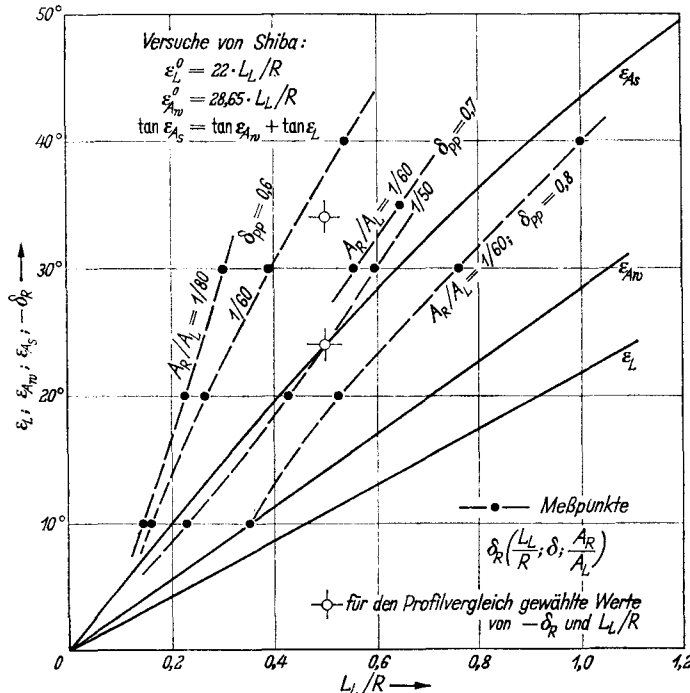


Bild 4. Beispiele für den Zusammenhang von Ruderlage  $\delta_R$ , Driftwinkel am Lateralschwerpunkt  $\varepsilon_L$ , Driftwinkel an der Ruderachse  $\varepsilon_A$  und Schiffsdrehung  $L_L/R$

recht gute Mittelwerte für interessante Handelsschiffstypen darstellen. Diese in Bild 4 dargestellten Ergebnisse, Ruderwinkel mit Driftwinkeln abhängig von Drehung sowie Rudergröße und Völligkeit der Verdrängung, werden also hier zu Grunde gelegt.

Damit sind dann die Ergebnisse von Ruderversuchen auf die Kriterien für hydrodynamische Güte zu überprüfen. Große Steuerkraft und kleiner Schleppleistungsbedarf bei Geradeausfahrt und Drehung sind die ersten Forderungen. Ein hohes Querkraftmaximum wird zwar in Praxis nur dann beim Drehen ausgenutzt, wenn höherer Ruderwinkel als  $35^\circ$  gelegt werden können. Beim Stützen kommt diese Eigenschaft dann aber meist bei jedem Schiff zum Zuge. Schließlich sollen die Rückwärtseigenschaften des Ruders sowohl bei kleinen Ruderwinkeln wie auch bei der maximalen Querkraft möglichst hoch getrieben werden. Natürlich nützen die

besten Rückwärtseigenschaften eines Ruders nichts, wenn dieses Ruder so dicht hinter dem Totholz sitzt, daß bei Rückwärtsfahrt der Ruderquerstrom am Totholz einen Gegenkraft praktisch gleicher Größe erzeugt und damit die Ruderwirkung wieder fast vollständig aufhebt. Aber die moderne Tendenz größerer Schraubenbrunnen gibt die Gelegenheit, mit Rudern guter Rückwärtseigenschaften auch wirklich eine gewisse Steuerwirksamkeit auf Rückwärtsfahrt zu erzielen.

#### D. Die analytische und grafische Darstellung von Profilformen

Aus den vorausgehenden Überlegungen hat sich die Bedeutung der Profilierung des Ruders als wirklich einigermaßen frei wählbare Maßnahme zur Erzielung günstiger Rudereigenschaften herausgeschält. Die konstruktiven Bindungen sind hier bei weitem nicht so einschneidend wie z.B. bei der Wahl des Seitenverhältnisses. Überraschender Weise bietet aber das in der Literatur verstreute Material über Schiffsruderprofile nun keineswegs ein sehr systematisches Bild. Dabei ist Formsystematik ein gutes Hilfsmittel, um rasch und wirkungsvoll praktische Erfahrung statistisch richtig verwerten zu können; um so wichtiger je weniger quantitative hydrodynamische Untersuchungen vorliegen.

Bei dieser Sachlage erscheint es richtig, die bei der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt bzw. beim Institut für Schiffbau [18] und dann weiter entwickelte Ruderprofilssystematik [19], [20] auch dieser Untersuchung zu Grunde zu legen. Bild 5 zeigt nun diese systematisierte Bezeichnungsweise für die Abmessungsverhältnisse — sozusagen die „äußeren“ Proportionen des Profils — und die Formparameter der einzelnen Kurvenstücke, aus denen das Gesamtprofil zusammengesetzt ist. Die Formparameter könnte man entsprechend als die „inneren“ Proportionen des Profils bezeichnen. Bild 6 zeigt die gebrauchte Schreibweise für die Berechnung der Profilkonturen, die sämtlich aus Polynomen bestehen und in sogenannte Einflußfunktionen, für jeden Formparameter eine solche Funktion, aufgespalten sind. Hierdurch ist es möglich, jede nur denk-

bare – vernünftige und unvernünftige – Ruder-Profilform darzustellen. Als zwingende Folge davon ergibt sich auch die Möglichkeit, grafisch gegebene fremde Profilformen eindeutig zu analysieren und durch entsprechende Gleichungen auszudrücken. Dies Verfahren, das in [20] genauer

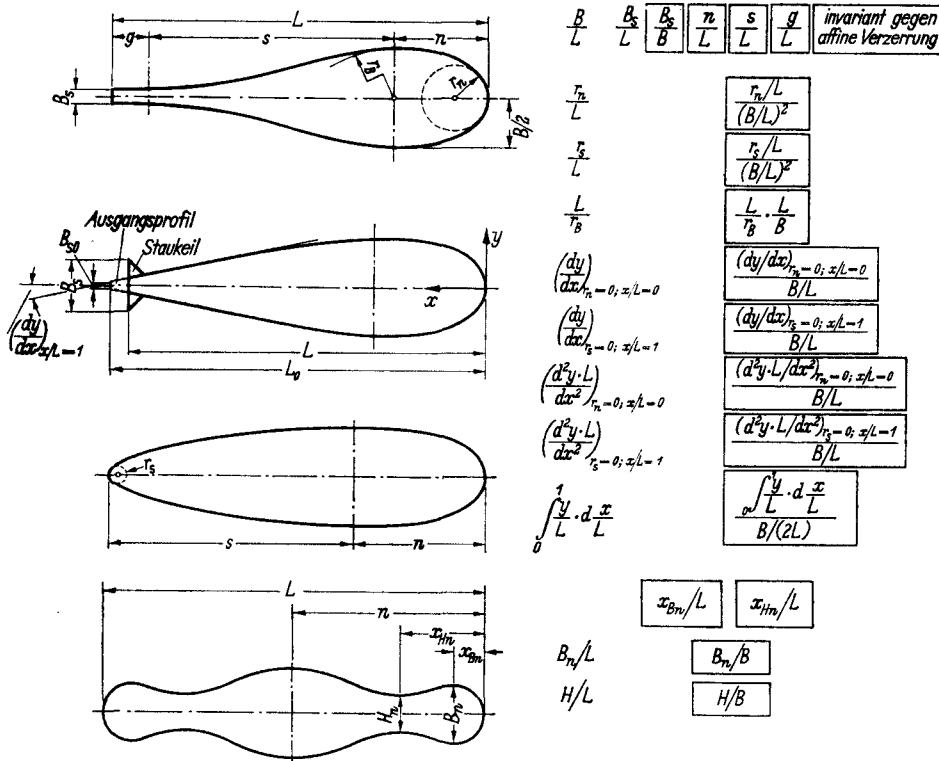


Bild 5. Abmessungsverhältnisse und Profilparameter von Ruderprofilen

beschrieben ist, erlaubt auch die Analyse der viel schwierigeren Schiffslinien [19] und kann daher auf jeden Fall als sicher genug für Ruder gelten. Als Beleg für die gute Reproduzierbarkeit des Verfahrens, beliebige Ruderprofile auf der Basis von Polynomen eindeutig zu analysieren, mag das in Bild 7 als Drittes gezeigte Leitkopfruder dienen. Es ist der Arbeit [3] entnommen, wo auch die Maße angegeben worden sind. Diese Maße sind gerechnet auf Grund einer Analyse einer kleinen Werftskizze und gestatten es damit, das Profil in beliebigem Maßstab mit großer hydrodynamisch wirksamer Genauigkeit zu zeichnen.

Es soll noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, daß man die Profile im allgemeinen sogenannten Profilmfamilien zuordnet. Die Profile einer Familie unterscheiden sich dann im wesentlichen nur durch die größte relative Dicke, die bei Ruderprofilen ja meist zwischen 35 und 20 v.H. der gesamten Länge von vorn liegt. Die relativen größten Dicken  $B/L$ , die in Betracht zu ziehen sind, ergeben sich einmal aus vorliegen-

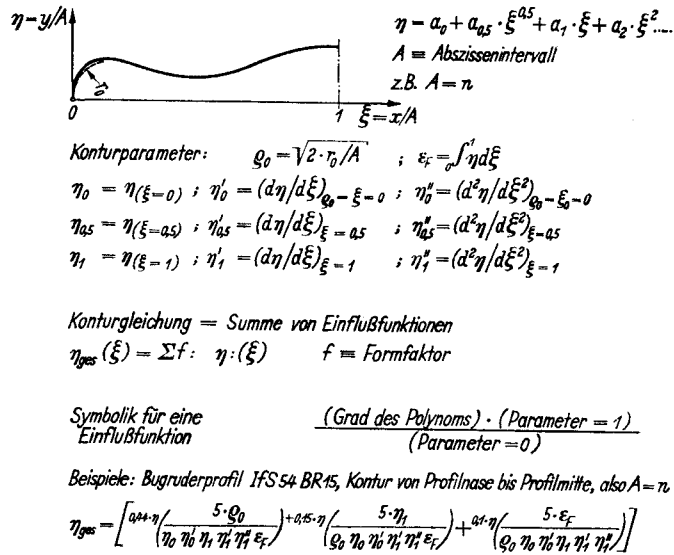


Bild 6. Konturgleichung und Konturparameter zur Darstellung von Ruderprofilen

Tabelle 1. Wichtigste Formparameter bekannter Balanceruder-Profile

Formparameter	$\frac{B}{L}$	$\frac{n}{L}$	$\frac{r_n}{L}$	$\frac{r_n/L}{(B/L)^2}$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{r_s=0, x=L}$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{r_s=0, x=L}$ B I L
Profil-Form						
Navy Standard Struit 15	0,15	≈ 0,35	≈ 0,0225	≈ 1,0	0,20	1,33
TMB 075 075 15	0,15	0,075	0,075	3,33	0,0812	0,541
HSVA 50 R 15	0,15	0,30	0,02475	1,1	0,135	0,90
Kümo-Ruderprofil nach [22]	0,199	0,395	≈ 0,035	≈ 0,89	≈ 0,27	≈ 1,35
Werft-Ruderprofil nach [27]	0,223	0,27	≈ 0,04	≈ 0,8	≈ 0,26	≈ 0,96
NACA 0012	0,12	0,30	0,01584	1,1	0,1404	1,17
NACA 0015	0,15	0,30	0,02475	1,1	0,1755	1,17
NACA 0018	0,18	0,30	0,03564	1,1	0,2106	1,17
NACA 0020	0,20	0,30	0,044	1,1	0,234	1,17
NACA 0025	0,25	0,30	0,06875	1,1	0,2925	1,17
Gö 409	0,128	0,35	≈ 0,0164	≈ 1,0	≈ 0,128	≈ 1,0
Gö überhöht	0,194	0,35	≈ 0,0376	≈ 1,0	≈ 0,194	≈ 1,0
Gö 410	0,161	0,30	≈ 0,035	≈ 1,35	0,1125	0,7
Gö 429	≈ 0,118	≈ 0,254	≈ 0,0161	≈ 1,159	0	0
Gö 538	≈ 0,169	≈ 0,258	≈ 0,0325	≈ 1,137	0	0
Gö 539	≈ 0,215	≈ 0,263	≈ 0,0513	≈ 1,108	0	0
Gö 540	≈ 0,257	≈ 0,269	≈ 0,0737	≈ 1,073	0	0

Tabelle 2. Formparameter der JfS-Ruderprofile

Profil	52 TR 12	52 TR 15	52 TR 18	58 TR 15	58 TR 25	61 TR 15	61 TR 25
Parameter							
$B/L$ .....	0,12	0,15	0,18	0,15	0,25	0,15	0,25
$B_s/L$ .....	0	0	0	0,03	0,05	0,03	0,05
$B_s/B$ .....	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2
$n/L$ .....	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	0,2
$s/L$ .....	0,75	0,75	0,75	0,65	0,65	0,7	0,7
$g/L$ .....	0	0	0	0,10	0,10	0,1	0,1
$r_n/L$ .....	0,0308	0,04825	0,0694	0,0804	0,134	0,0602	0,1676
$(r_n/L)/(B/L)^2$ .....	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146	2,68	2,68
$(r_n/n)/(B/n)^2$ .....	0,5365	0,5365	0,5365	0,5365	0,5365	0,5365	0,5365
$r_s/L$ .....	0	0	0	0	0	0	0
$(r_s/L)/(B/L)^2$ .....	0	0	0	0	0	0	0
$L/r_B$ .....	0,426	0,5238	0,64	0,5328	0,888	0,8325	1,39
$(L/r_B)/(B/L)$ .....	3,552	3,552	3,552	3,552	3,552	5,56	5,56
$(n/r_B)/(B/n)$ .....	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222
$(dy/dx)_{r_n=x=0}$ .....	-0,267	-0,333	-0,4	-0,333	-0,555	-0,417	-0,694
$(dy/dx)_{r_n=x=0/(B/L)}$ .....	-2,22	-2,22	-2,22	-2,22	-2,22	-2,776	-2,776
$(dy/dx)_{r_n=x=0/(B/n)}$ .....	-0,555	-0,555	-0,555	-0,555	-0,555	-0,555	-0,555
$-(dy/dx)_{r_s=0; x=L}$ .....	0,1066	0,1066	0,1066	0	0	0	0
$-(dy/dx)_{r_s=0; x=L/(B/L)}$ .....	0,888	0,7111	0,592	0	0	0	0
$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_n=x=0}$ .....	0,1032	0,129	0,1548	0,129	0,215	0,1775	0,296
$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_n=x=0/(B/L)}$ ..	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	1,183	1,183
$(n \cdot d^2y/dx^2)_{r_n=x=0/(B/n)}$ ..	0,05375	0,05375	0,05375	0,05375	0,05375	0,0473	0,0473
$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_s=0; x=L}$ .....	0	0,213	0,426	0	0	0	0
$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_s=0; x=L/(B/L)}$	0	1,42	2,366	0	0	0	0
$\int_0^1 (y/L) d(x/L)$ .....	0,0396	0,0487	0,0579	0,0453	0,0755	0,0432	0,0720
$\frac{2L}{B} \int_0^1 (y/L) d(x/L)$ .....	0,66	0,6493	0,6433	0,604	0,604	0,576	0,576
$x_{Bn}/L$ .....	—	—	—	—	—	—	—
$x_{Bn}/L$ .....	—	—	—	—	—	—	—
$B_n/L$ .....	—	—	—	—	—	—	—
$B_n/B$ .....	—	—	—	—	—	—	—
$H/L$ .....	—	—	—	—	—	—	—
$H/B$ .....	—	—	—	—	—	—	—

dem systematischen Versuchsmaterial, das meist bei  $B/L = 0,12$  beginnt, vgl. [26], und aus den äußersten konstruktiven Wünschen, was zu  $B/L = 0,25$  führt. Die meisten Profildfamilien umfassen in einfachster Weise Profile, die in vollständig affiner Verzerrung sich nur durch das Dickenverhältnis  $B/L$  unterscheiden. Solche Familien sind z. B. die bekannten NACA 00...-Profile und die neuere Familie JfS 58 TR... Nicht affine Familien sind einmal die bekannten Joukowski-Profile und vom Institut für Schiffbau die Familie JfS 52 TR... und JfS 62 TR... Ein Blick auf Tab. 1 und 2 zeigt die Besonderheiten dieser Profildfamilien.

Die Profilentwicklung am Institut für Schiffbau ist seit Jahren immer so vorgegangen, daß die besonderen Ergebnisse vorhandener Profildformen sorgfältig auf den Zusammenhang mit den Formparametern geprüft werden und daß daraus dann die weiteren Schritte durch Erfolg versprechende Parameteränderung abgeleitet werden.

**E. Vergleich und Diskussion verschiedener Ruder-Profildformen**

Die Versuche dieser Arbeit (Abschnitt F.) erstrecken sich nur auf Balanceruder. Jedoch liegt die Notwendigkeit bereits vor, die Versuche auch auf Leitkopfruder-Formen auszudehnen. Auf jeden Fall kann eine Übersicht über die Ruderprofildformen als ganzes an den Profild der Leitkopfruder nicht vorübergehen. Daher sind in Bild 7 die wohl bekanntesten Leitkopfruderprofile nach [3], [22] und [27] zusammengestellt. Vom heutigen Standpunkt aus dürfte sich eine Weiterentwicklung — besonders unter Anwendung hohler Profildflanken — vor allem für das Seebeck-Oertz-Ruder und für das HSVA-Leitkopfruder lohnen.

Tabelle 2 (Fortsetzung)

62 TR 15	62 TR 25	55 B 15	54 BR 15	59 BR 15	57 BR 17	NACA 0015 zum Vergleich	NACA 0025	Profil Parameter
0,15	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	$B/L$ .....
0,015	0,015	0	$\approx 0,1085$	0,0965	0,015	0,003	0,005	$B_s/L$ .....
0,10	0,06	0	$\approx 0,7233$	0,6433	0,1	0,02	0,02	$B_s/B$ .....
0,20	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,30	0,30	$n/L$ .....
0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,70	0,70	$s/L$ .....
0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	$g/L$ .....
0,0602	0,1676	0,0112	0,04825	0,04825	0	0,02475	0,06875	$r_n/L$ .....
2,68	2,68	0,5	2,146	2,146	0	1,1	1,1	$(r_n/L)/(B/L)^2$ .....
0,5365	0,5365	0,25	1,073	1,073	0	0,330	0,330	$(r_n/n)/(B/n)^2$ .....
0	0	0,0112	0,04825	0,04825	0	0	0	$r_s/L$ .....
0	0	0,5	2,146	2,146	0	0	0	$(r_s/L)/(B/L)^2$ .....
0,8325	1,39	0,3	0	6,59	1,62	0,39867	0,66428	$L/r_B$ .....
5,56	5,56	2	0	43,9	10,8	2,65714	2,65714	$(L/r_B)/(B/L)$ .....
0,222	0,222	0,5	0	10,98	2,7	0,239	0,239	$(n/r_B)/(B/n)$ .....
-0,417	-0,694	0	0	0	0	-0,0717	-0,1195	$(dy/dx)_{r_n = x = 0}$ .....
-2,776	-2,776	0	0	0	0	-0,4781	-0,4781	$(dy/dx)_{r_n = x = 0^{(B/L)}}$ .....
-0,555	-0,555	0	0	0	0	-0,143	-0,143	$(dy/dx)_{r_n = x = 0^{(B/n)}}$ .....
0	0	0	0	0	0	0,1755	0,2925	$-(dy/dx)_{r_s = 0; x = L}$ .....
0	0	0	0	0	0	1,17	1,17	$-(dy/dx)_{r_s = 0; x = L^{(B/L)}}$ .....
0,1775	0,296	0	-7,45	0	1,62	-0,81497	-1,35827	$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_n = x = 0}$ .....
1,183	1,183	0	-49,6	0	10,8	-5,4331	-5,4331	$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_n = x = 0^{(B/L)}}$ ..
0,0473	0,0473	0	12,417	0	2,7	-0,06171	-0,06171	$(n \cdot d^2y/dx^2)_{r_n = x = 0^{(B/n)}}$ ..
0	0	0	-7,45	0	1,62	-0,1028	-0,1714	$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_s = 0; x = L}$ .....
0	0	0	-49,6	0	10,8	-0,6857	-0,6857	$(L \cdot d^2y/dx^2)_{r_s = 0; x = L^{(B/L)}}$ .....
0,0410	0,0662	0,0589	0,05	0,0406	0,04125	0,05140	0,08567	$\int_0^1 (y/L) d(x/L)$ .....
0,5467	0,5296	0,7854	0,666	0,5413	0,5500	0,68536	0,68536	$\frac{2L}{B} \int_0^1 (y/L) d(x/L)$ .....
—	—	—	$\approx 0,065$	0,04825	—	—	—	$x_{Bn}/L$ .....
—	—	—	$\approx 0,2075$	0,19825	—	—	—	$x_{Hn}/L$ .....
—	—	—	$\approx 0,1085$	0,0965	—	—	—	$B_n/L$ .....
—	—	—	$\approx 0,7233$	0,6433	—	—	—	$B_n/B$ .....
—	—	—	$\approx 0,065$	0,05	—	—	—	$H/L$ .....
—	—	—	$\approx 0,433$	0,33	—	—	—	$H/B$ .....

machen, zeigt Bild 14 in stark vergrößerter Darstellung die Nasenkonturen und Bild 15 die Schwanzkonturen der besonders interessanten alten und neuen Balanceruderprofile.

Tabelle 3. Profilaufmaße der Ruderprofile der vorliegenden JfS-Untersuchung

JfS 62 TR 15				25		IfS 55 BR 15		IfS 54 BR 15	
$\frac{x}{L}$	$\frac{x}{n}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,004	0,02	0,02025	0,03374	0,01	0,01492	0,01	0,03030	0,01	0,03030
0,010	0,05	0,03062	0,05104	0,025	0,02342	0,02	0,04091	0,02	0,04091
0,020	0,1	0,04089	0,06814	0,05	0,03269	0,05	0,05314	0,05	0,05314
0,040	0,2	0,05301	0,08835	0,10	0,04500	0,10	0,04875	0,10	0,04875
0,060	0,3	0,06045	0,10075	0,15	0,05356	0,15	0,03768	0,15	0,03768
0,080	0,4	0,06549	0,10916	0,20	0,06000	0,20	0,03170	0,20	0,03170
0,120	0,6	0,07149	0,11915	0,30	0,06874	0,25	0,03431	0,25	0,03431
0,160	0,8	0,07424	0,12374	0,40	0,07349	0,30	0,04405	0,30	0,04405
0,200	1,0	0,07500	0,12500	0,50	0,07500	0,35	0,05679	0,35	0,05679
						0,40	0,06781	0,40	0,06781
						0,45	0,07385	0,45	0,07385
						0,50	0,07500	0,50	0,07500
	$\frac{x-n}{s}$								
0,200	0	0,07500	0,12500						
0,275	0,1	0,07271	0,12115						
0,350	0,2	0,06629	0,11020						
0,425	0,3	0,05676	0,09378						
0,500	0,4	0,04547	0,07420						
0,575	0,5	0,03392	0,05405						
0,650	0,6	0,02353	0,03580						
0,725	0,7	0,01541	0,02150						
0,800	0,8	0,01021	0,01231						
0,875	0,9	0,00789	0,00819						
0,950	1,0	0,00750	0,00750						
1,000		0,00750	0,00750						

IfS 59 BR 15			IfS 57 BR 15	
$\frac{x}{L}$	$\frac{x}{x_{Bn}}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$
0	0	0	0	0,00750
0,00096	0,02	0,00959	0,05	0,00939
0,00241	0,05	0,01505	0,10	0,01452
0,00482	0,10	0,02101	0,15	0,02158
0,00964	0,20	0,02893	0,20	0,03126
0,01446	0,30	0,03443	0,25	0,04125
0,01928	0,40	0,03857	0,30	0,05124
0,02893	0,60	0,04419	0,35	0,06042
0,03857	0,80	0,04724	0,40	0,06798
0,04821	1,00	0,04821	0,45	0,07311
			0,50	0,07500
	$\frac{x-x_{Bn}}{x_{Hn}-x_{Bn}}$			
0,04821	0	0,04821		
0,06317	0,1	0,04632		
0,07813	0,2	0,04211		
0,10805	0,4	0,03282		
0,13797	0,6	0,02702		
0,16789	0,8	0,02516		
0,19781	1,0	0,02500		
	$\frac{x-x_{Hn}}{n-x_{Hn}}$			
0,19781	0	0,02500		
0,25825	0,2	0,02637		
0,31869	0,4	0,03396		
0,37912	0,6	0,04876		
0,43956	0,8	0,06596		
0,46978	0,9	0,07239		
0,50000	1,0	0,07500		

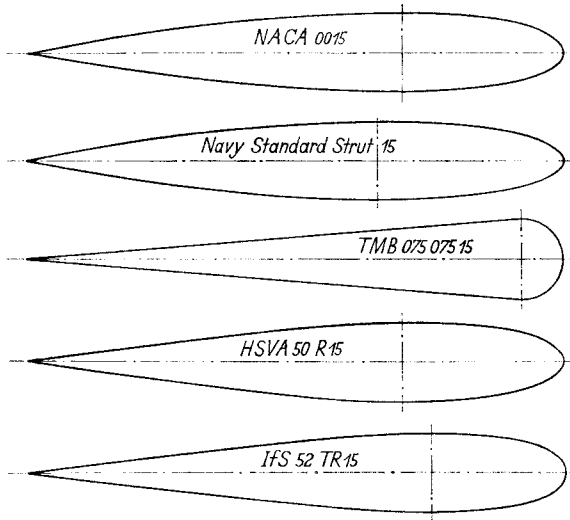


Bild 8. Beispiele gebräuchlicher Balanceruder-Profile von 15 v. H. relativer Dicke

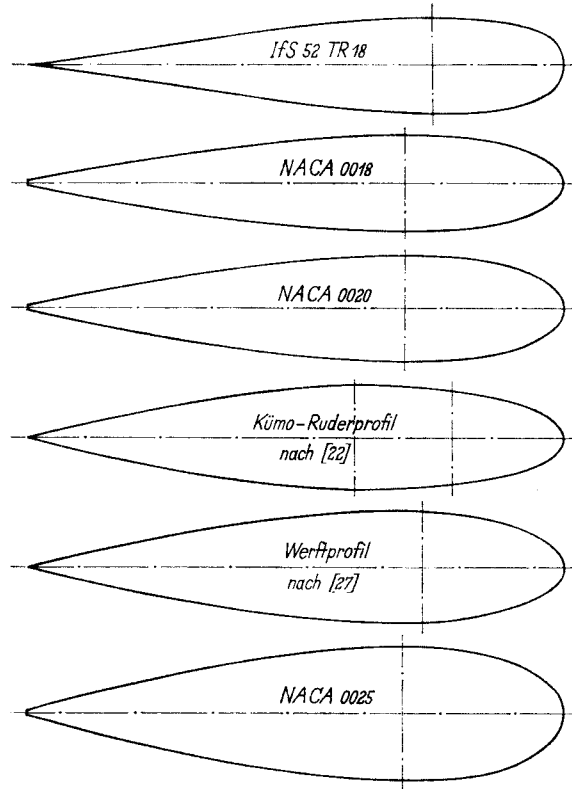


Bild 9. Beispiele gebräuchlicher Balanceruder-Profile von größerer relativer Dicke

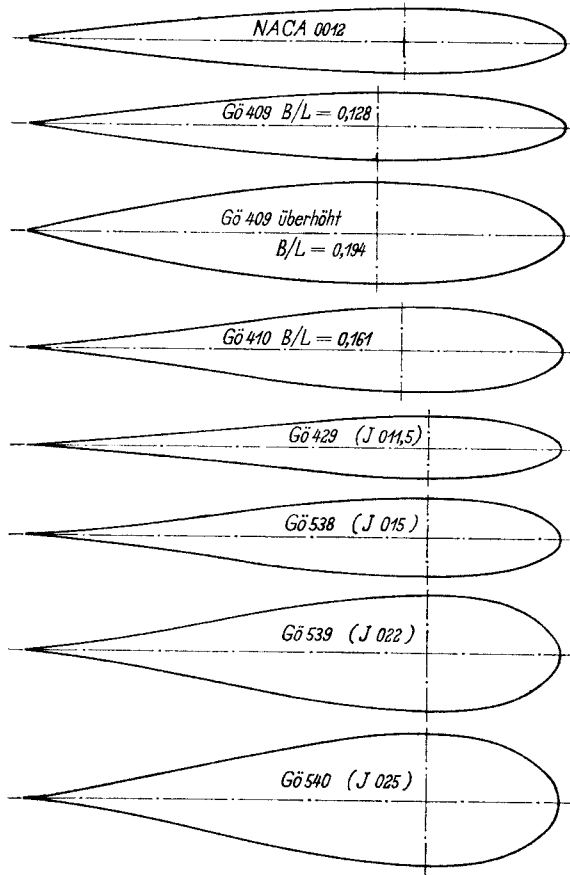


Bild 10. Symmetrische Strömungsprofile aus bekannten experimentellen Untersuchungen

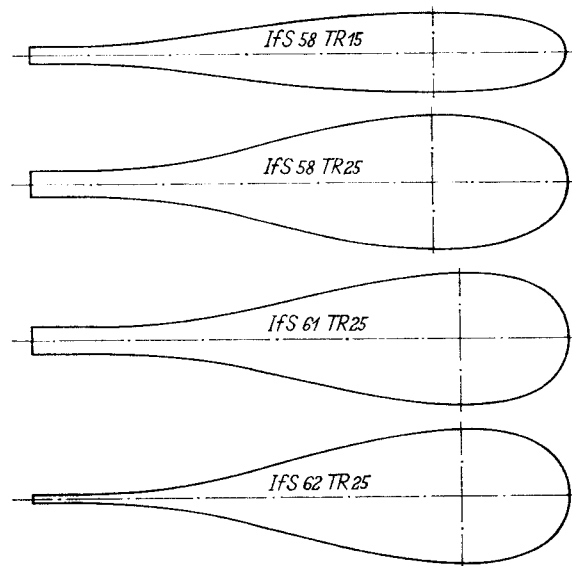


Bild 11. Die neuen JfS-Balanceruder-Profile

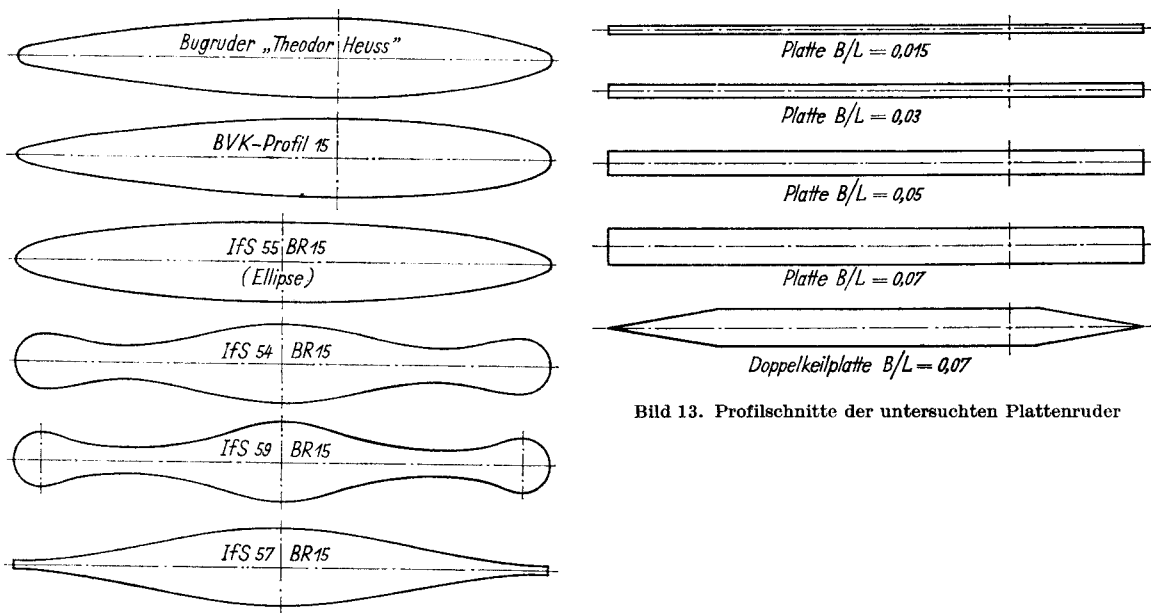


Bild 12. Bugrunder-Profile

Bild 13. Profilschnitte der untersuchten Plattenrunder

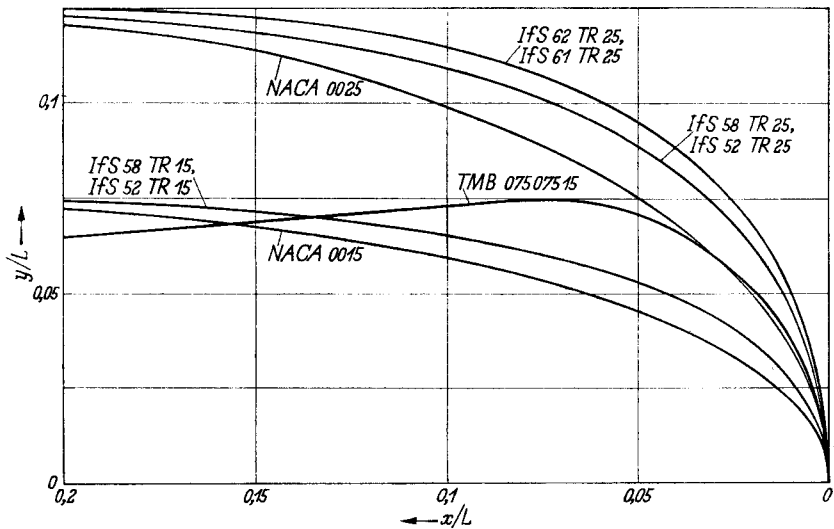


Bild 14. Vergleich der Nasenkonturen einiger Balanceruder-Profile

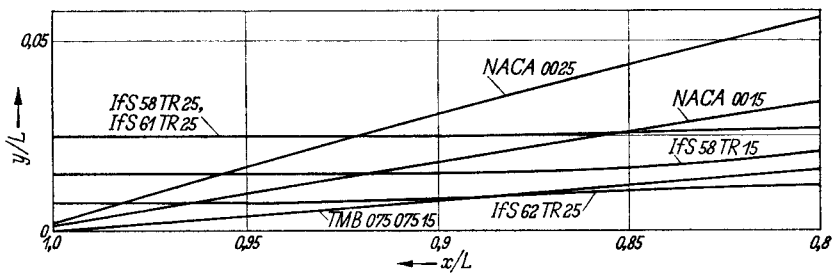


Bild 15. Vergleich der Schwanzkonturen einiger Balanceruderprofile

Es sei auf die nach aller praktischer Erfahrung und theoretischer Konsequenz sicherlich in ihrer Wirkung sehr schwachen Ruderprofile nach [22] und [27] in Bild 9 hingewiesen. Trotz „ästhetischer“ Konturen zeigen beide keine guten Leistungen in den Versuchen am angegebenen Ort. Umgekehrt zeigt das recht primitiv konstruierte Profil TMB 075 075 15 (besteht nur aus einem Nasenkreis und zwei tangierenden, geraden Profilflanken) recht gute Ergebnisse bei ausreichend großen Reynolds-Zahlen in der Untersuchung von Whicker und Fehlner [25]. Die guten Rückwärtseigenschaften haben sich sogar bei den kleineren Reynolds-Zahlen der JfS-Untersuchung bestätigt. Das TMB-Profil ist in Bild 8 und in Bild 14 und 15 darum mit dargestellt.

### F. Ergänzende Windkanalversuche

Spezielle und systematisch angelegte Versuche mit frei fahrenden Schiffsrudern sind nicht allzu zahlreich in der veröffentlichten Literatur enthalten. Seit einer früheren Zusammenstellung solcher Versuchsergebnisse [26] ist nicht sehr viel mehr neues Material veröffentlicht worden.

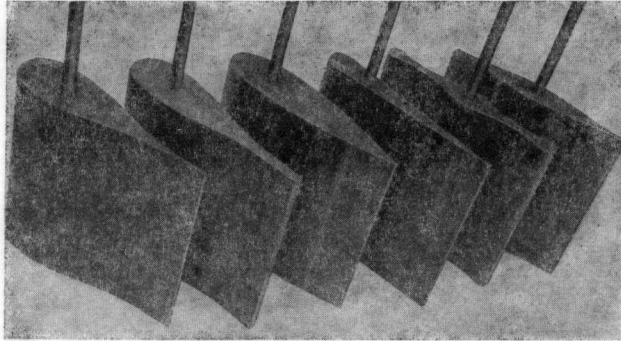


Bild 16. Modellfoto von untersuchten Windkanal-Rudermodellen, Seitenverhältnis  $A_R = 1$

Nachdem über den grundsätzlichen Einfluß des Seitenverhältnisses wie auch der Reynolds-Zahl (vgl. hier als Hinweise die Bilder 44 und 45) im grundsätzlichen keine große Unklarheit mehr besteht, war das Bedürfnis nach vergleichenden Profilprüfungen entstanden. Der Umstand, daß weitgehend für Schiffsruder die Profile der Reihe NACA 00. . verwendet wurden, die doch ursprünglich für andere Aufgaben der Flugtechnik entstanden waren, legte die Frage nahe, ob nicht für Schiffsruderanwendung noch geeignetere Profile zu gewinnen sein würden. So entstanden neue Profilformen im Institut für Schiffbau, die jedoch noch nicht ausreichend experimentell bestätigt waren, wenn sie auch gelegentlich schon zu Vergleichsversuchen [1], [22] und [30] schon verwendet wurden und auch praktischen Eingang gefunden hatten.

Für die im Hinblick auf den Profilformeinfluß notwendig erscheinenden Ergänzungsversuche wurden folgende im Laufe der letzten Jahre neu entwickelten JfS-Profile herangezogen:

Balanceruderprofile	JfS 58 TR 15 25 JfS 61 TR 25 JfS 62 TR 25
Bugruderprofile	JfS 54 BR 15 JfS 29 BR 15 JfS 57 BR 15
Zu Vergleichszwecken wurden untersucht:	
Balanceruderprofile	TMB 075 075 15 NACA 00 15 25
Als Bugruderprofil	JfS 55 BR 15 (Ellipse)
Plattenruder	B/L = 0,015 0,03 0,05 0,07

Die Masse der Versuche wurde im Windkanal der Ingenieurschule Hamburg (früherer JfS-Windkanal) durchgeführt. Bild 16 und 17 geben einen Eindruck von den Modellen und der Versuchsanordnung. Die Modelle hatten alle quadratischen Umriß von  $0,4 \times 0,4$  m Größe. Der Strahlquerschnitt hatte 1 m Durchmesser, so daß eine Kanalversperrung von  $A_R/A_S = 0,204$  sich ergab. Als Waage wurde für diese Mes-

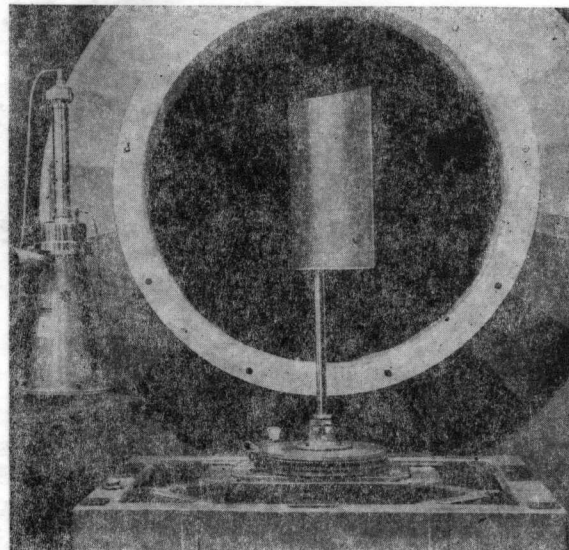


Bild 17. Blick auf die Versuchsanordnung im früheren JfS-Windkanal in der Ingenieurschule Hamburg

sungen eine auch für Tankversuche geeignete Federgelenkwaage mit elektrischen Meßgliedern verwendet. Der Meßweg ist praktisch Null, so daß eine geometrische Korrektur der Ruderstellung sich erübrigt. Die Leistung des Kanals erlaubte eine Reynolds-Zahl von nahezu  $0,8 \cdot 10^6$ . Bei den interessanten Profilen wurden mehrere Kennzahlen untersucht, um einen Anhaltspunkt für die Kennzahlabhängigkeit zu erhalten. Ergänzend wurden noch mit den Profilen NACA 0015 und JfS 58 TR 15 mit Modellen von  $0,1 \times 0,1$  m Größe Versuche in einem Strahldurchmesser von 0,5 m ausgeführt. Dadurch wurde bei einer Kanalversperrung von  $A_R/A_S = 0,0501$  als kleinste Reynolds-Zahl etwa  $0,13 \cdot 10^6$  mit erfaßt. Hierbei wurde das bei den kleinen Rudern der Untersuchung [2] benutzte Rudermeßgerät für kleine Schiffsmo- delle als Windkanalwaage verwendet.

Die gesamten Ergebnisse sind in Form der bekannten Beizahlen  $c_C$  für die Querkraft,  $c_D$  für den Widerstand,  $c_Y$  für die Seitenkraft,  $c_X$  für die Längskraft und  $c_{M,25}$  für das auf den  $L/4$ -Punkt der Ruderlänge bezogene Moment um eine gedachte Drehachse in den Tab. 4 bis 18 niedergelegt. Als Beispiele für die Diagrammdarstellung sind in den Bildern 18 bis 39 diese Beizahlen als Funktion des Anstellwinkels  $\varepsilon$  dargestellt. Dabei ist im allgemeinen die größte der untersuchten Reynolds-Zahlen zur Darstellung gekommen. Bei den als Bugru- der bezeichneten Profilen ist an Stelle der Beizahl  $c_{M,25}$  die Momentenbeizahl  $c_M$ , die das auf die Mitte der Ruderlänge bezogene Moment dimensionslos darstellt, gemessen und aufgetragen worden. Diese Bugru- der und die Platte mit  $B/L = 0,05$  waren mit einem Schaft auf  $L_R/2$  zur Halterung an der Waage versehen, alle anderen Ruder hatten den Schaft auf  $L_R/4$  von vorn. Für diesen Ruderschaft wurde eine Stangenkorrektur vom gemessenen Widerstand abgezogen. Weitere Korrekturen wurden an den Ergebnissen nicht vorgenommen, da zur Zeit der Messungen noch keine ausreichend glaubwür- diges Verfahren zur Korrektur der Windkanalmessungen von Ruderflächen mit kleinen Seiten- verhältnissen ausgearbeitet worden war. Da andererseits feststeht, daß (vgl. [26]) die Anwendung der Windkanalkorrekturen für Messungen an Tragflügeln mit größeren Seitenverhältnissen im Falle der Ruder mit Seitenverhältnis 1 zu einer Unterkorrektur beim Querkraftmaximum und zu einer Überkorrektur im übrigen Bereich führen würde, dürfte das hier angewendete Verfahren wohl das kleinere Übel darstellen. Für den Vergleich der hier untersuchten Profilformen ist die Unter- lassung der Korrektur ohnehin von geringerer Bedeutung. Beim Vergleich mit fremden Messun- gen, wie z. B. in Bild 44 und 45, sollte man sich jedoch diesen Umstand vor Augen halten. Die in diesen Bildern herangezogenen fremden Messungen sind sämtlich in üblicher Weise korrigiert, d. h. also beim Querkraftmaximum liegen die Querkräfte etwas zu niedrig und sind im übrigen etwas zu hoch. Da die Kanalversperrungen dort aber meist niedriger liegen als bei den JfS- Messungen mit den 0,4 m langen Rudern, sind die Korrekturen auch nicht so groß und können also auch nicht entscheidend für die Güte des Vergleiches mit den neuen Messungen sein.

Die Meßergebnisse sind im übrigen genau so dargestellt, wie sie geometrisch gemessen worden sind. Dabei sind die von der Internationalen Tankleiterkonferenz (ITTC) empfohlenen Defini- tionen angewendet worden. So ist in jedem Falle ein — von oben gesehen — rechtsdrehendes Moment positiv gezählt. Der Widerstand ist immer positiv in Richtung der Relativanströmung gerechnet. Die Längskraft zählt positiv in Richtung Profilmittte nach Profilmase zu. Die Seiten- kraft entsprechend positiv im rechten Winkel nach rechts von der positiven  $x$ -Richtung aus. Besonders zu beachten ist, daß die Querkraft positiv nach recht, immer entgegen der Relativ- anströmung gesehen, gezählt wird und ein positiver Anströmwinkel immer aus einer im Sinne des Momentes positiven Drehung entsteht. So sind hier z. B. die gesamten Messungen bei Rückwärts- fahrt mit Anströmwinkeln zwischen  $180^\circ$  und  $90^\circ$  gemessen und dargestellt worden.

Auf eine vergleichende Tabellierung prägnanter Kraftbeizahlen der einzelnen Profile ist hier verzichtet worden. Die Leistungsunterschiede der verschiedenen Profile sind meist in den Bildern bereits augenfällig genug. So ist die größte gemessene Querkraftbeizahl beim JfS 62 TR 25 mit 1,478 und das niedrigste Querkraftmaximum der Balanceruderprofile bei gleicher hoher Reynolds- Zahl beim TMB 075 075 15 mit 0,88 ermittelt worden. Bei der Rückwärtsfahrt ist von diesen Profilen aber TMB 075 075 15 mit  $c_{C,\text{Max}} = 1,115$  am besten, während NACA 0025 mit 0,908 den schlechtesten Wert ergibt. Von den Bugrudern ist JfS 57 BR 15 mit 1,03 im Querkraftmaximum am besten und das elliptische Profil JfS 55 BR 15 mit 0,743 am schlechtesten. Für einen Kurven- vergleich sind prägnante Profile ausgewählt worden. Bild 40 zeigt in der Wirksamkeit bei kleineren Ruderwinkeln das besonders gute Abschneiden von JfS 62 TR 15 und auch die relativ gute Lage von den beiden JfS 58 TR-Profilen. Bild 41 zeigt die gegenüber den NACA-Profilen bei den neuen JfS-Profilen deutlich verbesserte Balancierungsmöglichkeit; die Drehachse kann ohne Gefahr von Überbalance weiter zurückliegen. Bild 42 in Form der bekannten Polaren zeigt Wirk- samkeit und Schleppleistungsbedarf besonders auch bei größeren Winkeln.

Tabelle 4. Versuchsergebnisse TMB 075 075 15 (vgl. Bild 18 u. 19)  
 $Re = 0,38 \cdot 10^6$   $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,rs}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,rs}$
- 2	-0,055	0,040	-0,056	-0,038	0,002	- 2	-0,052	0,038	-0,053	-0,036	-0,002
0	0	0,040	0,000	-0,040	0	0	0	0,031	0	-0,031	-0,001
2	0,050	0,040	0,051	-0,038	0,002	2	0,052	0,033	0,053	-0,031	0,004
5	0,134	0,065	0,139	-0,053	-0,008	5	0,130	0,054	0,135	-0,043	-0,004
10	0,271	0,109	0,286	-0,061	-0,037	10	0,291	0,111	0,205	-0,059	-0,034
15	0,438	0,179	0,469	-0,060	-0,071	15	0,435	0,175	0,465	-0,056	-0,069
20	0,562	0,259	0,617	-0,051	-0,105	20	0,567	0,262	0,623	-0,052	-0,013
25	0,662	0,363	0,753	-0,049	-0,129	25	0,667	0,357	0,756	-0,042	-0,131
30	0,776	0,482	0,913	-0,029	-0,153	30	0,776	0,475	0,910	-0,023	-0,150
35	0,851	0,602	1,042	-0,005	-0,176	35	0,847	0,603	1,040	-0,008	-0,173
40	0,856	0,682	1,093	0,028	-0,183	40	0,861	0,700	1,110	0,018	-0,189
41	0,806	0,672	1,049	0,021	-0,181	43	0,743	0,678	1,006	0,011	-0,175
42	0,756	0,682	1,019	-0,001	-0,181	44	0,719	0,667	0,981	0,019	-0,169
45	0,662	0,692	0,957	-0,021	-0,174	45	0,716	0,672	0,981	0,031	-0,164
50	0,642	0,726	0,969	0,025	-0,176	50	0,648	0,719	0,967	0,034	-0,172
55	0,577	0,756	0,950	0,040	-0,176	55	0,582	0,755	0,952	0,044	-0,175
60	0,502	0,786	0,931	0,042	-0,178	60	0,502	0,766	0,914	0,052	-0,173
70	0,348	0,806	0,876	0,051	-0,181	70	0,350	0,792	0,865	0,058	-0,176
80	0,229	0,881	0,908	0,073	-0,215	80	0,225	0,873	0,899	0,071	-0,212
90	0,090	0,980	0,980	0,090	-0,261	90	0,097	0,972	0,972	0,097	-0,256

 $Re = 0,69 \cdot 10^6$ Rückwärtsfahrt  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ 

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,rs}$	$180^\circ$ $-\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,rs}$
- 2	-0,058	0,033	-0,059	-0,030	-0,002	0	-0,010	0,057	0,010	0,057	-0,050
0	0	0,030	0	-0,030	0	5	-0,182	0,073	0,188	0,057	-0,073
2	0,055	0,030	0,056	-0,028	0,003	10	-0,336	0,121	0,352	0,061	-0,148
5	0,136	0,058	0,141	-0,046	-0,001	15	-0,532	0,213	0,569	0,068	-0,224
10	0,294	0,108	0,309	-0,055	-0,030	20	-0,705	0,319	0,772	0,059	-0,317
15	0,441	0,182	0,473	-0,062	-0,069	25	-0,885	0,466	0,999	0,052	-0,387
20	0,575	0,260	0,629	-0,047	-0,102	30	-1,033	0,634	1,211	0,032	-0,429
25	0,670	0,361	0,760	-0,044	-0,122	35	-1,104	0,811	1,370	0,031	-0,467
30	0,780	0,491	0,921	-0,035	-0,154	40	-1,095	0,972	1,464	0,041	-0,483
35	0,856	0,617	1,055	-0,014	-0,178	45	-1,022	1,081	1,487	0,041	-0,473
40	0,862	0,715	1,120	0,007	-0,194	50	-0,624	0,861	1,062	0,076	-0,341
41	0,824	0,694	1,077	0,016	-0,184	55	-0,539	0,910	1,054	0,080	-0,335
42	0,772	0,680	1,029	0,012	-0,178	60	-0,447	0,942	1,040	0,084	-0,324
45	0,717	0,686	0,992	0,022	-0,171	70	-0,272	0,996	1,029	0,085	-0,307
50	0,664	0,717	0,976	0,048	-0,170	80	-0,088	1,017	1,016	0,091	-0,289
55	0,586	0,745	0,946	0,052	-0,171	90	-0,092	0,982	0,982	0,092	-0,259
60	0,515	0,772	0,926	0,060	-0,174						
70	0,364	0,788	0,864	0,073	-0,177						
80	0,226	0,879	0,905	0,070	-0,213						
90	0,096	0,963	0,963	0,096	-0,250						

Tabelle 5. Versuchsergebnisse NACA 0015 (vgl. Bild 20 u. 21)

Re = 0,20 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,076	0,040	-0,077	-0,037	-0,017
0	-0,016	0,040	-0,016	-0,040	-0,009
2	0,042	0,056	0,043	-0,055	-0,009
5	0,143	0,074	0,148	-0,061	-0,004
10	0,345	0,123	0,361	-0,061	-0,009
15	0,469	0,206	0,506	-0,077	-0,025
20	0,554	0,316	0,628	-0,108	-0,105
25	0,662	0,426	0,780	-0,106	-0,132
30	0,715	0,525	0,882	-0,097	-0,159
35	0,722	0,608	0,941	-0,084	-0,171
40	0,704	0,675	0,973	-0,065	-0,176
45	0,655	0,744	0,989	-0,063	-0,202
50	0,619	0,811	1,019	-0,047	-0,222
55	0,605	0,890	1,076	-0,014	-0,224
60	0,543	0,924	1,072	0,008	-0,255
90	0	1,009	1,009	0	-0,350

Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,047	0,021	-0,048	-0,020	-0,001
0	0	0,019	0	-0,019	0,004
2	0,057	0,021	0,057	-0,019	0,008
5	0,140	0,028	0,142	-0,016	0,016
10	0,279	0,047	0,283	0,002	0,002
15	0,442	0,083	0,448	0,034	0,021
20	0,622	0,147	0,634	0,075	0,004
25	0,762	0,215	0,781	0,127	-0,002
28	0,837	0,277	0,868	-0,149	-0,013
29	0,667	0,417	0,785	-0,041	-0,098
30	0,672	0,426	0,795	-0,033	-0,009
35	0,705	0,537	0,886	-0,035	-0,129
40	0,682	0,612	0,917	-0,031	-0,137
45	0,620	0,657	0,903	-0,027	-0,140
50	0,558	0,719	0,910	-0,035	-0,149
55	0,502	0,738	0,893	-0,011	-0,152
60	0,440	0,768	0,885	-0,003	-0,157
70	0,307	0,799	0,856	0,015	-0,170
80	0,185	0,866	0,885	0,032	-0,213
90	0,0615	0,980	0,980	0,062	-0,256

Re = 0,67 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,052	0,025	-0,053	-0,023	-0,001
0	0	0,022	0	-0,022	0,003
2	0,062	0,024	0,063	-0,021	0,007
5	0,144	0,027	0,145	-0,014	0,014
10	0,284	0,039	0,287	0,011	0,018
15	0,453	0,074	0,456	0,046	0,018
20	0,632	0,138	0,641	0,087	0,001
25	0,762	0,220	0,784	0,123	-0,004
30	0,927	0,325	0,966	0,183	-0,029
32	0,982	0,387	1,038	0,192	-0,063
33	0,692	0,491	0,848	-0,034	-0,122
35	0,719	0,538	0,897	-0,028	-0,129
40	0,689	0,610	0,920	-0,025	-0,139
45	0,631	0,658	0,911	-0,019	-0,141
50	0,574	0,706	0,910	-0,014	-0,149
55	0,512	0,741	0,901	-0,006	-0,153
60	0,441	0,768	0,886	-0,002	-0,163
70	0,314	0,809	0,867	0,019	-0,175
80	0,186	0,894	0,912	0,028	-0,214
90	0,061	0,991	0,991	0,061	-0,261

Re = 0,79 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,055	0,021	-0,055	-0,019	-0,001
0	0	0,020	0	-0,020	0,003
2	0,056	0,023	0,056	-0,021	0,008
5	0,141	0,026	0,143	-0,014	0,014
10	0,289	0,042	0,292	0,009	0,021
15	0,441	0,069	0,444	0,048	0,019
20	0,622	0,135	0,630	0,086	0,006
25	0,775	0,217	0,795	0,130	-0,004
30	0,926	0,320	0,962	0,186	-0,026
33	1,025	0,405	1,081	0,218	-0,060
34	1,052	0,505	1,153	0,111	-0,121
35	0,713	0,528	0,887	-0,023	-0,126
40	0,685	0,605	0,914	-0,023	-0,137
45	0,631	0,645	0,902	-0,010	-0,141
50	0,583	0,700	0,911	-0,004	-0,152
55	0,528	0,731	0,902	0,013	-0,155
60	0,448	0,761	0,883	0,007	-0,161
70	0,322	0,791	0,853	0,031	-0,175
80	0,209	0,875	0,898	0,054	-0,211
90	0,065	0,969	0,969	0,065	-0,255

Rückwärtsfahrt Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

180° - $\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
0	-0	0,050	0	0,050	0,001
5	-0,241	0,069	0,246	0,047	-0,077
10	-0,385	0,102	0,397	0,033	-0,157
15	-0,532	0,180	0,561	0,036	-0,222
20	-0,643	0,258	0,692	0,022	-0,287
25	-0,771	0,376	0,857	0,015	-0,339
30	-0,918	0,532	1,061	0,002	-0,418
35	-1,022	0,719	1,249	0,003	-0,458
40	-1,059	0,885	1,380	-0,003	-0,489
45	-1,010	1,041	1,450	0,022	-0,492
50	-0,872	0,806	0,986	0,079	-0,347
55	-0,511	0,861	0,998	0,076	-0,341
60	-0,431	0,911	1,005	0,083	-0,336
70	-0,277	0,981	1,017	0,075	-0,315
80	-0,111	1,024	1,028	0,068	-0,297
90	-0,059	0,989	0,989	0,059	-0,263

Tabelle 6. Versuchsergebnisse NACA 0025 (vgl. Bild 22 u. 23)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$Re = 0,56 \cdot 10^6$						$Re = 0,69 \cdot 10^6$					
$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,052	0,036	-0,053	-0,034	-0,004	- 2	-0,050	0,036	-0,051	-0,034	-0,004
0	0	0,033	0	0,033	-0,002	0	0	0,034	0	-0,034	-0,001
2	0,052	0,036	0,053	-0,034	0,033	2	0,053	0,034	0,054	-0,032	0,004
5	0,130	0,038	0,133	-0,026	0,008	5	0,129	0,040	0,132	-0,029	0,009
10	0,269	0,059	0,275	-0,012	0,014	10	0,272	0,055	0,278	-0,006	0,015
15	0,421	0,090	0,429	0,022	0,014	15	0,423	0,090	0,431	0,022	0,013
20	0,572	0,144	0,587	0,060	0,009	20	0,577	0,138	0,589	0,068	0,005
25	0,728	0,222	0,754	0,107	-0,006	25	0,732	0,221	0,757	0,109	-0,007
30	0,882	0,317	0,922	0,167	-0,025	30	0,895	0,317	0,933	0,174	-0,028
35	1,057	0,440	1,117	0,245	-0,060	35	1,039	0,447	1,107	0,229	-0,062
40	1,178	0,593	1,283	0,300	-0,102	40	1,188	0,600	1,296	0,305	-0,104
45	1,318	0,809	1,497	0,386	-0,162	45	1,315	0,778	1,480	0,380	-0,150
47	1,313	0,847	1,515	0,382	-0,173	48	1,320	0,874	1,532	0,396	-0,177
48	1,308	0,880	1,529	0,384	-0,186	49	1,313	0,910	1,548	0,394	-0,185
49	0,534	0,664	0,851	-0,032	-0,130	50	1,305	0,935	1,555	0,398	-0,190
50	0,521	0,669	0,847	-0,031	-0,132	51	0,527	0,679	0,859	-0,017	-0,133
55	0,485	0,724	0,871	-0,018	-0,147	55	0,485	0,719	0,867	-0,015	-0,144
60	0,423	0,745	0,857	-0,007	-0,154	60	0,435	0,746	0,863	0,003	-0,151
70	0,305	0,788	0,844	0,028	-0,169	70	0,319	0,780	0,842	0,033	-0,165
80	0,194	0,861	0,882	0,039	-0,210	80	0,198	0,851	0,872	0,047	-0,206
90	0,085	0,936	0,936	0,085	-0,255	90	0,083	0,928	0,928	0,083	-0,254

 $Re = 0,78 \cdot 10^6$ 

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,050	0,032	-0,051	-0,030	-0,005
0	0	0,031	0	-0,031	0,001
2	0,055	0,035	0,056	-0,033	0,003
5	0,132	0,036	0,134	-0,024	0,010
10	0,270	0,052	0,275	-0,005	0,015
15	0,419	0,089	0,428	0,023	0,015
20	0,586	0,145	0,599	0,065	0,008
25	0,732	0,217	0,756	0,112	-0,004
30	0,883	0,319	0,916	0,166	-0,026
35	1,033	0,446	1,102	0,227	-0,058
40	1,192	0,595	1,294	0,310	-0,099
45	1,325	0,768	1,479	0,393	-0,146
46	1,336	0,805	1,507	0,401	-0,153
47	1,321	0,832	1,509	0,398	-0,165
48	1,315	0,864	1,521	0,399	-0,177
49	1,312	0,894	1,535	0,404	-0,183
50	1,310	0,918	1,545	0,413	-0,187
51	1,292	0,947	1,549	0,409	-0,194
52	0,515	0,685	0,857	-0,016	-0,135
55	0,495	0,710	0,866	-0,001	-0,139
60	0,434	0,747	0,855	0,002	-0,152
70	0,341	0,771	0,841	0,056	-0,164
80	0,216	0,815	0,840	0,071	-0,197
90	0,086	0,924	0,924	0,086	-0,247

Rückwärtsfahrt  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ 

$180^\circ - \varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
0	0	0,064	0	0,064	-0,004
5	-0,267	0,095	-0,274	0,071	-0,088
10	-0,412	0,142	-0,431	0,068	-0,165
15	-0,553	0,199	-0,585	0,049	-0,235
20	-0,672	0,289	-0,730	0,041	-0,300
25	-0,738	0,381	-0,830	0,033	-0,340
30	-0,767	0,511	-0,921	0,059	-0,362
35	-0,672	0,548	-0,864	0,064	-0,332
37	-0,908	0,719	-1,157	0,028	-0,436
40	-0,894	0,816	-1,210	0,050	-0,447
45	-0,529	0,705	-0,872	0,124	-0,333
50	-0,478	0,773	-0,899	0,131	-0,335
55	-0,412	0,828	-0,915	0,138	-0,332
60	-0,341	0,858	-0,914	0,134	-0,323
70	-0,203	0,937	-0,949	0,130	-0,311
80	-0,055	0,956	-0,952	0,112	-0,284
90	-0,085	0,901	-0,901	0,085	-0,252

Tabelle 7. Versuchsergebnisse JfS 58 TR 15 (vgl. Bild 24 u. 25)

Re = 0,13 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
-1,3	-0,036	0,030	-0,037	-0,029	0,011
0,7	0,016	0,030	0,017	-0,030	0,019
2,7	0,073	0,042	0,075	-0,039	0,019
5,7	0,170	0,062	0,175	-0,045	0,019
10,7	0,336	0,119	0,352	-0,055	0
15,7	0,526	0,156	0,548	-0,073	-0,009
20,7	0,599	0,326	0,675	-0,092	-0,117
25,7	0,717	0,455	1,844	-0,099	-0,147
30,7	0,794	0,569	0,972	-0,084	-0,177
35,7	0,794	0,662	1,031	-0,075	-0,198
40,7	0,733	0,723	1,028	-0,070	-0,218
45,7	0,677	0,775	1,028	-0,056	-0,227
50,7	0,620	0,848	1,049	-0,057	-0,246
55,7	0,583	0,909	1,079	-0,030	-0,257
60,7	0,510	0,947	1,076	-0,018	-0,266
90,7	0	1,002	1,002	0,012	-0,355

Re = 0,19 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,067	0,031	-0,068	-0,029	0,005
0	0,007	0,040	0,007	-0,040	0,009
2	0,076	0,056	0,078	-0,053	0,009
0	0,007	0,040	0,007	-0,040	0,009
2	0,076	0,056	0,078	-0,053	0,009
5	0,175	0,074	0,181	-0,058	0,009
10	0,354	0,123	0,369	-0,049	0
15	0,529	0,274	0,582	-0,128	-0,009
20	0,605	0,431	0,717	-0,198	-0,123
25	0,730	0,549	0,893	-0,190	-0,145
30	0,780	0,675	1,013	-0,194	-0,194
35	0,789	0,691	1,042	-0,113	-0,228
40	0,754	0,751	1,061	-0,090	-0,229
45	0,662	0,776	1,017	-0,081	-0,238
50	0,612	0,852	1,047	-0,079	-0,255
55	0,637	0,915	1,114	-0,003	-0,251
60	0,578	0,959	1,120	0,021	-0,269
90	0	1,090	1,090	0	-0,370

Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,057	0,031	-0,058	-0,029	-0,003
0	0	0,026	0	-0,026	-0,001
2	0,062	0,028	0,062	-0,026	0
5	0,156	0,033	0,158	-0,019	0,001
10	0,315	0,057	0,320	-0,001	0,001
15	0,483	0,095	0,491	0,033	-0,009
20	0,677	0,166	0,693	0,076	-0,022
25	0,856	0,258	0,884	0,128	-0,046
30	1,034	0,376	1,083	0,192	-0,083
31	0,837	0,534	0,993	-0,026	-0,256
35	0,894	0,634	1,096	-0,007	-0,189
40	0,885	0,764	1,169	-0,016	-0,215
42	0,809	0,731	1,090	-0,002	-0,199
45	0,738	0,721	1,032	0,012	-0,191
50	0,636	0,755	0,987	0,001	-0,189
55	0,558	0,776	0,956	0,012	-0,188
60	0,480	0,785	0,919	0,019	-0,184
70	0,321	0,813	0,873	0,024	-0,189
80	0,206	0,918	0,940	0,044	-0,231
90	0,062	0,998	0,998	0,062	-0,271

Re = 0,65 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,054	0,032	-0,055	-0,030	-0,002
0	0	0,029	0	-0,029	-0,001
2	0,061	0,034	0,062	-0,032	0
5	0,166	0,039	0,168	-0,024	0
10	0,315	0,058	0,320	-0,002	0,001
15	0,494	0,102	0,503	0,030	-0,007
20	0,687	0,169	0,703	0,076	-0,023
25	0,863	0,262	0,893	0,128	-0,047
30	1,044	0,384	1,096	0,189	-0,077
31	1,081	0,416	1,131	0,200	-0,087
32	1,112	0,448	1,118	0,210	-0,097
33	0,875	0,592	1,056	-0,019	-0,179
35	0,893	0,638	1,097	-0,011	-0,191
40	0,900	0,749	1,171	0,004	-0,279
42	0,834	0,734	1,111	0,012	-0,204
45	0,741	0,731	1,071	0,007	-0,195
50	0,639	0,751	0,986	0,007	-0,188
55	0,565	0,778	0,961	0,017	-0,187
60	0,477	0,799	0,931	0,013	-0,187
70	0,323	0,817	0,878	0,023	-0,188
80	0,213	0,922	0,945	0,050	-0,230
90	0,059	1,000	1,000	0,059	-0,268

Re = 0,78 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,055	0,033	-0,056	-0,031	0,001
0	0	0,029	0	-0,029	0
2	0,060	0,032	0,062	-0,030	0
5	0,161	0,034	0,164	-0,020	0,001
10	0,322	0,053	0,327	-0,001	0,001
15	0,500	0,098	0,508	0,035	-0,007
20	0,670	0,166	0,686	0,073	-0,023
25	0,867	0,263	0,897	0,129	-0,046
30	1,051	0,387	1,104	0,191	-0,074
33	1,146	0,477	1,220	0,223	-0,100
34	1,182	0,512	1,265	0,237	-0,109
35	0,891	0,637	1,095	-0,011	-0,188
40	0,906	0,762	1,184	-0,001	-0,216
45	0,740	0,728	1,038	0,008	-0,193
50	0,636	0,758	0,990	-0,001	-0,190
55	0,576	0,785	0,973	0,021	-0,188
60	0,492	0,801	0,940	0,025	-0,185
70	0,329	0,811	0,875	0,032	-0,186
80	0,216	0,912	0,937	0,055	-0,226
90	0,062	0,998	0,998	0,062	-0,264

Rückwärtsfahrt Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$180^\circ - \epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
0	0	0,052	0	0,052	0
5	-0,132	0,062	0,137	0,050	-0,083
10	-0,272	0,092	0,284	0,044	-0,157
15	-0,537	0,196	0,570	0,051	-0,225
20	-0,648	0,286	0,707	0,047	-0,281
25	-0,771	0,402	0,868	0,038	-0,335
30	-0,932	0,558	1,086	0,017	-0,415
35	-1,059	0,735	1,289	-0,005	-0,463
40	-1,114	0,885	1,422	-0,037	-0,494
45	-1,069	1,043	1,492	-0,018	-0,498
50	-0,610	0,821	1,021	0,061	-0,353
55	-0,525	0,868	1,012	0,068	-0,342
60	-0,445	0,923	1,022	0,067	-0,339
70	-0,286	0,999	1,036	0,073	-0,325
80	-0,111	1,015	1,019	0,066	-0,297
90	+0,062	0,994	0,994	0,062	-0,269

Tabelle 8. Versuchsergebnisse JFS 58 TR 25 (vergl. Bild 26 u. 27)

Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,052	0,045	-0,054	-0,043	-0,006
0	0	0,045	0	-0,045	-0,006
2	0,062	0,045	0,603	-0,043	-0,008
5	0,156	0,050	0,160	-0,036	-0,009
10	0,317	0,078	0,326	-0,022	-0,014
15	0,483	0,123	0,498	0,006	-0,025
20	0,672	0,192	0,697	0,050	-0,045
25	0,856	0,293	0,899	0,097	-0,069
30	1,050	0,418	1,118	0,163	-0,102
35	1,223	0,572	1,330	0,233	-0,143
40	1,296	0,726	1,460	0,277	-0,177
41	1,320	0,719	1,468	0,323	-0,185
42	0,766	0,679	1,023	0,007	-0,204
45	0,681	0,698	0,975	-0,011	-0,200
50	0,629	0,707	0,947	0,027	-0,205
55	0,577	0,778	0,968	0,027	-0,208
60	0,506	0,799	0,945	0,038	-0,207
70	0,359	0,818	0,892	0,057	-0,202
80	0,220	0,887	0,912	0,063	-0,231
90	0,099	0,956	0,956	0,099	-0,265

Re = 0,67 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,050	0,046	-0,052	-0,044	-0,005
0	0	0,044	0	-0,044	-0,006
2	0,062	0,044	0,064	-0,042	-0,007
5	0,161	0,044	0,165	-0,030	-0,011
10	0,319	0,075	0,327	-0,019	-0,014
15	0,491	0,126	0,507	0,006	-0,025
20	0,670	0,197	0,696	0,044	-0,043
25	0,846	0,290	0,890	0,095	-0,070
30	1,021	0,404	1,086	0,161	-0,105
35	1,206	0,568	1,313	0,226	-0,139
40	1,321	0,719	1,474	0,298	-0,163
41	1,324	0,747	1,489	0,305	-0,169
42	1,354	0,778	1,527	0,328	-0,177
43	1,364	0,805	1,547	0,341	-0,181
44	1,379	0,839	1,574	0,354	-0,189
45	1,399	0,880	1,611	0,367	-0,196
46	0,692	0,704	0,987	0,010	-0,196
50	0,645	0,728	0,971	0,025	-0,197
55	0,570	0,778	0,964	0,021	-0,205
60	0,512	0,787	0,937	0,049	-0,202
70	0,367	0,810	0,887	0,068	-0,199
80	0,229	0,864	0,891	0,076	-0,224
90	0,078	0,936	0,936	0,098	-0,258

Re = 0,78 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,059	0,047	-0,061	-0,045	-0,006
0	0	0,043	0	-0,043	-0,006
2	0,062	0,044	0,063	-0,042	-0,009
5	0,149	0,050	0,153	-0,037	-0,009
10	0,313	0,076	0,321	-0,020	-0,014
15	0,488	0,123	0,503	0,007	-0,024
20	0,660	0,191	0,685	0,047	-0,042
25	0,844	0,288	0,887	0,096	-0,067
30	1,022	0,411	1,091	0,156	-0,100
35	1,206	0,559	1,309	0,233	-0,132
40	1,324	0,711	1,472	0,307	-0,160
45	1,410	0,877	1,617	0,377	-0,194
46	1,416	0,906	1,635	0,389	-0,197
47	1,431	0,941	1,664	0,405	-0,206
48	1,448	0,972	1,691	0,425	-0,211
49	0,654	0,756	1,000	-0,003	-0,206
50	0,643	0,743	0,983	0,015	-0,200
55	0,590	0,785	0,982	0,033	-0,204
60	0,530	0,803	0,960	0,057	-0,205
70	0,377	0,821	0,901	0,073	-0,202
80	0,253	0,873	0,903	0,097	-0,227
90	0,105	0,954	0,954	0,105	-0,263

Rückwärtsfahrt Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$180^\circ$ $-\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
0	-0,014	0,085	0,014	0,085	-0,005
5	-0,151	0,099	0,160	0,086	-0,089
10	-0,293	0,139	0,313	0,087	-0,168
15	-0,428	0,196	0,464	0,079	-0,233
20	-0,674	0,356	0,755	0,096	-0,297
25	-0,785	0,475	0,912	0,098	-0,361
30	-0,885	0,589	1,071	0,067	-0,415
35	-0,927	0,714	1,169	0,053	-0,437
40	-0,975	0,873	1,308	0,041	-0,461
45	-0,610	0,735	0,952	0,088	-0,345
50	-0,558	0,797	0,970	0,085	-0,344
55	-0,478	0,863	0,980	0,104	-0,340
60	-0,385	0,892	0,966	0,113	-0,329
70	-0,229	0,952	0,972	0,111	-0,311
80	-0,069	0,987	0,984	0,104	-0,293
90	+0,104	0,952	0,952	0,104	-0,263

Tabelle 9. Versuchsergebnisse JfS 61 TR 25 (vergl. Bild 28 u. 29)

Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

Re = 0,70 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,054	0,052	-0,056	-0,050	0,005
0	0	0,047	0	-0,047	0,004
2	0,066	0,050	0,068	-0,047	0,004
5	0,161	0,054	0,165	-0,040	0,004
10	0,317	0,083	0,326	-0,027	-0,002
15	0,501	0,133	0,516	0,002	-0,014
20	0,676	0,203	0,704	0,040	-0,033
25	0,866	0,307	0,915	0,088	-0,058
30	1,059	0,442	1,137	0,147	-0,094
31	1,083	0,475	1,174	0,151	-0,102
32	1,131	0,506	1,227	0,170	-0,109
33	1,166	0,539	1,270	0,183	-0,118
34	1,188	0,572	1,305	0,190	-0,127
35	0,780	0,638	1,005	-0,074	-0,191
40	0,799	0,723	1,077	-0,040	-0,203
45	0,691	0,717	0,996	-0,018	-0,191
50	0,633	0,755	0,985	-0,001	-0,196
55	0,579	0,780	0,970	0,027	-0,194
60	0,506	0,808	0,953	0,034	-0,200
70	0,355	0,818	0,890	0,053	-0,194
80	0,229	0,880	0,907	0,072	-0,224
90	0,104	0,963	0,963	0,104	-0,263

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,056	0,050	-0,058	-0,048	0,006
0	0	0,049	0	-0,049	-0,004
2	0,062	0,050	0,064	-0,048	0,004
5	0,161	0,058	0,166	-0,043	0,003
10	0,323	0,084	0,333	-0,027	-0,002
15	0,509	0,130	0,526	0,006	-0,015
20	0,692	0,204	0,719	0,045	-0,034
25	0,873	0,309	0,921	0,089	-0,059
30	1,047	0,437	1,126	0,145	-0,091
35	1,231	0,598	1,352	0,216	-0,132
36	1,254	0,636	1,388	0,222	-0,139
37	1,269	0,658	1,409	0,238	-0,142
38	1,292	0,691	1,444	0,250	-0,150
39	0,801	0,710	1,069	-0,048	-0,202
40	0,795	0,725	1,075	-0,044	-0,206
45	0,707	0,736	1,021	-0,021	-0,201
50	0,640	0,756	0,990	0,004	-0,195
55	0,599	0,783	0,984	0,042	-0,197
60	0,512	0,806	0,954	0,041	-0,200
70	0,365	0,807	0,884	0,067	-0,195
80	0,226	0,884	0,909	0,069	-0,227
90	0,101	0,953	0,953	0,101	-0,259

Re = 0,79 · 10<sup>6</sup>

Rückwärtsfahrt Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
- 2	-0,058	0,047	-0,060	-0,045	0,004
0	0	0,046	0	-0,046	0,003
2	0,060	0,047	0,061	-0,045	0,004
5	0,147	0,051	0,151	-0,038	0,002
10	0,322	0,076	0,330	-0,019	-0,002
15	0,495	0,126	0,511	0,007	-0,014
20	0,678	0,192	0,703	0,052	-0,031
25	0,856	0,295	0,900	0,095	-0,057
30	1,037	0,422	1,109	0,154	-0,087
35	1,213	0,578	1,325	0,223	-0,125
40	1,327	0,732	1,487	0,292	-0,154
41	1,342	0,731	1,083	-0,027	-0,208
45	0,720	0,728	1,024	-0,006	-0,200
50	0,646	0,738	0,980	0,021	-0,195
55	0,602	0,795	0,996	0,037	-0,204
60	0,530	0,810	0,966	0,054	-0,201
70	0,377	0,818	0,898	0,074	-0,198
80	0,256	0,868	0,899	0,101	-0,222
90	0,109	0,943	0,109	0,109	-0,260

$180^\circ - \epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,ss}$
0	+0,005	0,086	-0,005	0,088	0,001
5	-0,142	0,102	0,150	0,089	-0,077
10	-0,298	0,149	0,319	0,095	-0,153
15	-0,444	0,222	0,486	0,099	-0,219
20	-0,662	0,376	0,751	0,127	-0,281
25	-0,771	0,475	0,900	0,105	-0,333
30	-0,894	0,593	1,071	0,066	-0,412
35	-0,955	0,709	1,189	0,033	-0,436
40	-0,999	0,870	1,324	0,024	-0,466
45	-0,638	0,728	0,966	0,064	-0,342
50	-0,596	0,820	1,011	0,070	-0,349
55	-0,502	0,880	1,009	0,094	-0,345
60	-0,413	0,910	0,995	0,093	-0,332
70	-0,248	0,967	0,994	0,098	-0,313
80	-0,078	0,995	0,994	0,096	-0,294
90	-0,104	0,963	0,963	0,104	-0,265

Tabelle 10. Versuchsergebnisse JfS 62 TR 25 (vergl. Bild 30 u. 31)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$   $Re = 0,69 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M_{..}}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M_{..}}$
- 2	-0,052	0,038	-0,053	-0,036	0,002	- 2	-0,055	0,040	-0,056	-0,038	0,001
0	0	0,036	0	-0,036	0,001	0	0	0,036	0	-0,036	0
2	0,062	0,036	0,063	-0,033	0,001	2	0,065	0,039	0,066	-0,036	0,001
5	0,161	0,040	0,164	-0,026	0	5	0,166	0,043	0,169	-0,028	0
10	0,324	0,073	0,332	-0,016	-0,007	10	0,334	0,071	0,341	-0,012	-0,008
15	0,516	0,123	0,531	0,015	-0,020	15	0,521	0,123	0,535	0,016	-0,020
20	0,698	0,196	0,713	0,055	-0,039	20	0,706	0,200	0,731	0,054	-0,039
25	0,894	0,307	0,940	0,100	-0,067	25	0,894	0,305	0,940	0,102	-0,068
30	1,088	0,449	1,167	0,155	-0,105	30	1,072	0,442	1,149	0,153	-0,099
35	1,254	0,617	1,383	0,213	-0,145	35	1,236	0,608	1,361	0,210	-0,135
38	1,320	0,712	1,478	0,251	-0,164	40	1,373	0,762	1,541	0,299	-0,156
39	0,799	0,705	1,065	-0,045	-0,202	41	1,379	0,783	1,554	0,314	-0,155
40	0,790	0,707	1,060	-0,034	-0,220	42	1,397	0,828	1,592	0,320	-0,162
45	0,714	0,705	1,004	0,006	-0,191	45	1,461	0,925	1,687	0,379	-0,174
50	0,648	0,745	0,988	0,017	-0,192	46	0,698	0,723	1,005	0	-0,195
55	0,596	0,792	0,992	0,034	-0,200	50	0,661	0,747	0,997	0,025	-0,194
60	0,527	0,806	0,962	0,053	-0,200	55	0,605	0,780	0,986	0,047	-0,196
70	0,381	0,823	0,903	0,075	-0,197	60	0,532	0,803	0,961	0,059	-0,197
80	0,251	0,892	0,923	0,092	-0,226	70	0,381	0,824	0,904	0,076	-0,197
90	0,111	0,960	0,960	0,111	-0,256	80	0,248	0,868	0,897	0,093	-0,218
						90	0,117	0,952	0,952	0,117	-0,255

 $Re = 0,78 \cdot 10^6$ 

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M_{..}}$
- 2	-0,056	0,039	-0,057	-0,037	0,001
0	0	0,036	0	-0,035	0,001
2	0,064	0,037	0,065	-0,034	0,001
5	0,162	0,042	0,165	-0,027	0
10	0,329	0,072	0,337	-0,014	-0,005
15	0,516	0,122	0,530	0,016	-0,019
20	0,708	0,199	0,733	0,055	-0,039
25	0,893	0,305	0,938	0,101	-0,064
30	1,084	0,442	1,159	0,159	-0,097
35	1,259	0,601	1,376	0,230	-0,131
40	1,378	0,751	1,538	0,311	-0,153
45	1,467	0,930	1,695	0,379	-0,181
46	1,478	0,966	1,721	0,382	-0,188
47	1,457	1,004	1,728	0,381	-0,194
48	1,451	1,010	1,720	0,402	-0,198
49	0,673	0,739	1,000	0,023	-0,195
50	0,668	0,743	0,998	0,034	-0,194
55	0,613	0,794	1,002	0,047	-0,202
60	0,548	0,818	0,982	0,065	-0,202
70	0,405	0,855	0,942	0,088	-0,205
80	0,278	0,872	0,907	0,123	-0,219
90	0,120	0,960	0,960	0,120	-0,255

Rückwärtsfahrt  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ 

$180^\circ$ $-\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M_{..}}$
0	0	0,073	0	0,073	-0,001
5	-0,147	0,078	0,153	0,065	-0,082
10	-0,423	0,166	0,445	0,090	-0,163
15	-0,577	0,240	0,620	0,083	-0,236
20	-0,705	0,345	0,780	0,073	-0,305
25	-0,866	0,466	0,982	0,056	-0,387
30	-0,976	0,603	1,147	0,034	-0,448
35	-1,039	0,747	1,280	0,016	-0,475
40	-1,048	0,903	1,382	0,018	-0,486
45	-0,975	1,050	1,431	0,053	-0,481
50	-0,553	0,820	0,983	0,104	-0,342
55	-0,471	0,875	0,987	0,116	-0,336
60	-0,388	0,922	0,992	0,125	-0,330
70	-0,225	0,988	1,005	0,176	-0,313
80	-0,050	1,003	0,997	0,125	-0,288
90	-0,111	0,963	0,963	0,111	-0,259

Tabelle 11. Versuchsergebnisse JfS 55 BR 15 (vergl. Bild 32)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,073	0,031	-0,074	-0,028	-0,010	- 2	-0,080	0,031	-0,081	-0,028	-0,012
0	0,005	0,033	0,005	-0,033	-0,002	0	0	0,028	0	-0,028	-0,001
2	0,083	0,031	0,084	-0,028	0,010	2	0,080	0,031	0,081	-0,028	0,011
5	0,203	0,040	0,206	-0,022	0,027	5	0,186	0,037	0,189	-0,021	0,030
10	0,352	0,069	0,359	-0,006	0,064	10	0,335	0,059	0,340	-0,000	0,068
15	0,506	0,106	0,517	0,028	0,101	15	0,478	0,097	0,486	0,029	0,105
20	0,608	0,185	0,634	0,025	0,133	20	0,601	0,182	0,627	0,035	0,139
25	0,674	0,329	0,749	-0,013	0,103	22	0,618	0,244	0,664	0,005	0,013
30	0,743	0,447	0,867	-0,015	0,124	25	0,664	0,331	0,742	-0,019	0,110
35	0,690	0,542	0,876	-0,049	0,102	30	0,721	0,438	0,844	-0,018	0,119
36	0,681	0,548	0,873	-0,043	0,101	35	0,692	0,529	0,870	-0,036	0,098
37	0,657	0,568	0,867	-0,059	0,097	36	0,670	0,541	0,860	-0,044	0,097
40	0,648	0,601	0,882	-0,043	0,097	37	0,668	0,560	0,870	-0,045	0,099
45	0,582	0,645	0,868	-0,044	0,095	30	0,640	0,594	0,872	-0,043	0,095
50	0,548	0,712	0,897	-0,039	0,089	45	0,595	0,654	0,883	-0,041	0,097
55	0,478	0,754	0,891	-0,041	0,085	50	0,538	0,704	0,885	-0,041	0,090
60	0,407	0,775	0,875	-0,036	0,073	55	0,485	0,751	0,893	-0,034	0,083
70	0,277	0,840	0,884	-0,027	0,052	60	0,411	0,790	0,890	-0,039	0,072
80	0,137	0,856	0,867	-0,014	0,029	70	0,284	0,840	0,886	-0,020	0,050
90	0	0,870	0,870	0	-0,002	80	0,141	0,849	0,860	-0,009	0,029
						90	0	0,876	0,876	0	0,001

Tabelle 12. Versuchsergebnisse JfS 54 BR 15 (vergl. Bild 33)

$Re = 0,56 \cdot 10^6$

$Re = 0,71 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,059	0,073	-0,062	-0,071	-0,017	- 2	-0,056	0,071	-0,059	-0,069	-0,018
0	0	0,069	0	-0,069	-0,003	0	0,003	0,067	0,003	-0,067	-0,003
2	0,064	0,071	0,066	-0,069	0,009	2	0,068	0,068	0,070	-0,066	0,017
5	0,163	0,083	0,170	-0,068	0,029	5	0,167	0,073	0,173	-0,059	0,031
10	0,333	0,121	0,349	-0,061	0,057	10	0,340	0,117	0,355	-0,056	0,060
15	0,492	0,185	0,523	-0,051	0,075	15	0,449	0,182	0,481	-0,059	0,078
20	0,629	0,277	0,686	-0,045	0,093	20	0,633	0,277	0,689	-0,043	0,096
25	0,762	0,395	0,858	-0,036	0,093	25	0,760	0,404	0,860	-0,045	0,102
30	0,873	0,534	1,023	-0,025	0,114	30	0,864	0,540	1,018	-0,036	0,116
35	0,967	0,688	1,187	-0,008	0,114	35	0,945	0,692	1,171	-0,025	0,117
40	0,965	0,820	1,266	-0,007	0,094	40	0,922	0,826	1,237	-0,040	0,103
41	0,861	0,783	1,163	-0,026	0,087	41	0,840	0,795	1,155	-0,049	0,103
42	0,799	0,750	1,095	-0,022	0,086	42	0,789	0,772	1,103	-0,046	0,092
45	0,723	0,759	1,046	-0,026	0,086	45	0,720	0,754	1,042	-0,024	0,088
50	0,652	0,792	1,026	-0,009	0,075	50	0,654	0,795	1,030	-0,010	0,078
55	0,577	0,825	1,007	0	0,068	55	0,577	0,828	1,009	-0,002	0,073
60	0,489	0,844	0,976	0,001	0,060	60	0,491	0,858	0,989	-0,004	0,063
70	0,326	0,884	0,941	0,004	0,045	70	0,321	0,890	0,946	-0,003	0,049
80	0,163	0,879	0,894	0,010	0,026	80	0,158	0,887	0,901	0,002	0,029
90	0,005	0,901	0,901	0,005	0,001	90	0,003	0,908	0,908	0,003	0,002

Tabelle 12. Versuchsergebnisse JfS 54 BR 15  
(vergl. Bild 33)Re = 0,78 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,064	0,069	-0,066	-0,067	-0,014
0	0	0,060	0	-0,060	-0,000
2	0,060	0,063	0,061	-0,061	0,014
5	0,149	0,065	0,154	-0,052	0,035
10	0,341	0,121	0,357	-0,060	0,058
15	0,492	0,189	0,524	-0,056	0,075
20	0,630	0,284	0,689	-0,052	0,088
25	0,767	0,406	0,867	-0,044	0,094
30	0,863	0,544	1,019	-0,039	0,104
35	0,965	0,700	1,192	-0,020	0,111
40	0,962	0,837	1,275	-0,024	0,088
41	0,905	0,837	1,232	-0,038	0,079
42	0,812	0,778	1,124	-0,035	0,077
45	0,732	0,769	1,062	-0,026	0,070
50	0,649	0,803	1,032	-0,019	0,061
55	0,576	0,838	1,016	-0,009	0,053
60	0,489	0,867	0,995	-0,011	0,048
70	0,317	0,904	0,957	-0,011	0,034
80	0,165	0,890	0,906	0,007	0,016
90	0,006	0,905	0,905	0,006	-0,002

Tabelle 13. Versuchsergebnisse JfS 59 BR 15  
(vergl. Fig. 34)Re = 0,56 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,059	0,078	0,062	-0,076	-0,008
0	0	0,080	0	-0,080	0,002
2	0,066	0,080	0,069	-0,078	0,011
5	0,163	0,095	0,171	-0,080	0,026
10	0,338	0,140	0,357	-0,079	0,046
15	0,492	0,199	0,526	-0,064	0,064
20	0,634	0,289	0,695	-0,055	0,083
25	0,785	0,404	0,883	-0,034	0,086
30	0,953	0,570	1,110	-0,016	0,113
35	1,022	0,738	1,260	-0,018	0,106
40	1,029	0,887	1,358	-0,018	0,089
41	1,023	0,908	1,368	-0,014	0,090
42	0,792	0,752	1,091	-0,029	0,065
45	0,743	0,776	1,074	-0,025	0,068
50	0,669	0,802	1,045	-0,004	0,061
55	0,574	0,830	1,009	-0,006	0,052
60	0,487	0,854	0,983	-0,005	0,051
70	0,321	0,894	0,950	-0,005	0,035
80	0,159	0,903	0,917	-0,001	0,014
90	0	0,913	0,913	0	0,002

Tabelle 13. Versuchsergebnisse JfS 59 BR 15 (vergl. Fig. 34)

Re = 0,71 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,058	0,084	-0,061	-0,082	-0,008
0	0	0,080	0	-0,080	0,002
2	0,065	0,083	0,068	-0,080	0,011
5	0,152	0,096	0,160	-0,083	0,027
10	0,342	0,138	0,361	-0,076	0,047
15	0,494	0,198	0,528	-0,064	0,064
20	0,640	0,300	0,704	-0,063	0,087
25	0,782	0,429	0,890	-0,058	0,093
30	0,930	0,577	1,094	-0,035	0,115
35	1,024	0,757	1,273	-0,033	0,113
40	1,020	0,906	1,364	-0,039	0,098
41	1,009	0,923	1,366	-0,037	0,091
42	0,806	0,747	1,099	-0,015	0,074
45	0,729	0,775	1,063	-0,033	0,065
50	0,661	0,809	1,045	-0,014	0,061
55	0,581	0,835	1,017	-0,003	0,053
60	0,492	0,858	0,989	-0,003	0,047
70	0,315	0,881	0,935	-0,005	0,037
80	0,160	0,899	0,913	0,001	0,012
90	0	0,921	0,921	0	-0,001

Re = 0,78 · 10<sup>6</sup>

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,059	0,088	-0,062	-0,086	-0,012
0	0	0,085	0	-0,085	0
2	0,066	0,087	0,069	-0,084	0,012
5	0,173	0,096	0,181	-0,081	0,028
10	0,341	0,140	0,360	-0,078	0,049
15	0,502	0,209	0,539	-0,072	0,071
20	0,649	0,296	0,711	-0,056	0,089
25	0,791	0,428	0,898	-0,053	0,096
30	0,928	0,573	1,090	-0,032	0,116
35	1,019	0,749	1,263	-0,029	0,109
40	1,019	0,891	1,353	-0,027	0,094
41	1,005	0,926	1,365	-0,039	0,089
42	0,808	0,779	1,121	-0,039	0,075
45	0,747	0,780	1,079	-0,023	0,067
50	0,660	0,820	1,052	-0,022	0,063
55	0,583	0,852	1,032	-0,011	0,056
60	0,503	0,874	1,008	-0,002	0,047
70	0,322	0,901	0,956	-0,007	0,033
80	0,163	0,910	0,924	0,002	0,017
90	0,005	0,918	0,918	0,005	-0,000

Tabelle 14. Versuchsergebnisse JfS 57 BR 15 (vergl. Bild 35)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$
- 2	-0,057	0,028	-0,058	-0,026	-0,013	- 2	-0,056	0,030	-0,057	-0,028	-0,011
0	0	0,026	0	-0,026	0,001	0	0,003	0,028	0,003	-0,028	0,005
2	0,059	0,031	0,060	-0,029	0,019	2	0,059	0,031	0,060	-0,029	0,022
5	0,147	0,043	0,150	-0,029	0,044	5	0,148	0,037	0,150	-0,024	0,045
10	0,293	0,069	0,300	-0,017	0,078	10	0,293	0,068	0,300	-0,016	0,081
15	0,435	0,123	0,452	-0,006	0,099	15	0,435	0,123	0,452	-0,006	0,101
20	0,579	0,213	0,617	-0,002	0,106	20	0,572	0,217	0,612	-0,008	0,111
25	0,717	0,336	0,792	-0,002	0,092	25	0,698	0,349	0,780	-0,021	0,097
30	0,894	0,511	1,030	0,015	0,121	27	0,735	0,401	0,837	-0,023	0,101
35	1,010	0,688	1,222	0,016	0,130	28	0,751	0,427	0,863	-0,024	0,104
40	1,053	0,875	1,370	0,006	0,124	29	0,825	0,470	0,949	-0,011	0,117
42	1,046	0,922	1,394	0,014	0,102	30	0,877	0,506	1,013	0,001	0,123
43	0,705	0,707	0,997	-0,036	0,078	35	0,985	0,703	1,210	-0,011	0,140
45	0,672	0,726	0,988	-0,038	0,078	40	1,038	0,889	1,366	-0,014	0,127
50	0,601	0,776	0,982	-0,038	0,070	42	0,996	0,965	1,385	-0,051	0,120
55	0,534	0,825	0,981	-0,036	0,062	43	0,704	0,724	1,009	-0,050	0,086
60	0,454	0,868	0,978	-0,041	0,058	45	0,667	0,736	0,992	-0,048	0,086
70	0,300	0,908	0,956	-0,028	0,047	50	0,603	0,794	0,995	-0,048	0,077
80	0,149	0,929	0,941	-0,014	0,023	55	0,535	0,841	0,996	-0,045	0,073
90	-0,005	0,964	0,964	-0,005	-0,002	60	0,455	0,880	0,990	-0,046	0,067
						70	0,307	0,940	0,987	-0,033	0,048
						80	0,154	0,944	0,956	-0,013	0,030
						90	0,001	0,962	0,962	-0,002	0

Tabelle 15. Versuchsergebnisse Quadratplatte  $B/L = 0,015$  (vergl. Bild 36)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M, **}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M, **}$
- 2	-0,057	0,018	-0,057	-0,016	0,004	- 2	-0,056	0,022	-0,057	-0,020	-0,002
0	0	0,017	0	-0,017	0,001	0	0	0,018	0	-0,018	0,001
2	0,057	0,017	0,057	-0,015	-0,003	2	0,056	0,019	0,057	-0,017	0,004
5	0,156	0,024	0,158	-0,010	-0,004	5	0,151	0,030	0,153	-0,016	0,007
10	0,338	0,071	0,345	-0,011	-0,008	10	0,349	0,077	0,357	-0,015	-0,005
15	0,553	0,149	0,573	-0,001	-0,037	15	0,544	0,155	0,565	-0,009	-0,034
20	0,762	0,272	0,809	0,006	-0,082	20	0,749	0,271	0,797	0,001	-0,077
25	0,929	0,423	1,021	0,010	-0,129	25	0,925	0,413	1,013	0,017	-0,120
30	1,070	0,587	1,220	0,027	-0,175	30	1,047	0,587	1,201	0,016	-0,165
35	1,155	0,762	1,382	0,038	-0,213	35	1,159	0,758	1,384	0,043	-0,002
40	1,178	0,939	1,505	0,038	-0,256	40	1,177	0,944	1,508	0,033	-0,230
41	1,153	0,939	1,486	0,049	-0,256	41	1,157	0,936	1,487	0,052	-0,247
42	0,868	0,714	1,123	0,050	-0,202	42	0,854	0,725	1,119	0,032	-0,199
45	0,773	0,747	1,074	0,018	-0,201	45	0,785	0,748	1,083	0,027	-0,195
50	0,681	0,768	1,026	0,029	-0,194	50	0,689	0,768	1,031	0,034	-0,187
55	0,596	0,785	0,985	0,038	-0,188	55	0,599	0,784	0,985	0,042	-0,181
60	0,502	0,802	0,945	0,034	-0,184	60	0,506	0,821	0,964	0,027	-0,186
70	0,336	0,863	0,926	0,021	-0,192	70	0,334	0,840	0,903	0,027	-0,186
80	0,180	0,975	0,991	0,008	-0,234	80	0,182	0,946	0,964	0,015	-0,223
90	0	1,048	1,048	0	-0,265	90	0,003	1,036	1,036	0,003	-0,262

Tabelle 16. Versuchsergebnisse Quadratplatte  $B/L = 0,03$  (vergl. Bild 37)Re =  $0,57 \cdot 10^6$ Re =  $0,71 \cdot 10^6$ 

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
-2	-0,054	0,033	-0,056	-0,031	-0,002	-2	-0,061	0,036	-0,062	-0,033	-0,002
0	0,007	0,033	0,007	-0,033	0,002	0	0,003	0,033	0,003	-0,033	0,001
2	0,062	0,035	0,063	-0,033	0,005	2	0,061	0,036	0,063	-0,033	0,004
5	0,156	0,050	0,159	-0,031	0,005	5	0,155	0,044	0,159	-0,031	0,005
10	0,338	0,092	0,349	-0,032	-0,009	10	0,342	0,092	0,353	-0,031	-0,009
15	0,539	0,170	0,565	-0,025	-0,036	15	0,527	0,167	0,552	-0,025	-0,036
20	0,724	0,286	0,778	-0,022	-0,077	20	0,722	0,289	0,778	-0,024	-0,080
25	0,887	0,428	0,985	-0,013	-0,116	25	0,876	0,404	0,965	0,004	-0,117
30	1,036	0,592	1,193	0,005	-0,160	30	1,016	0,584	1,171	0,002	-0,164
35	1,119	0,762	1,353	0,018	-0,202	35	1,106	0,764	1,343	0,008	-0,203
40	1,154	0,920	1,476	0,038	-0,246	40	1,142	0,914	1,463	0,034	-0,240
41	1,147	0,951	1,489	0,035	-0,253	41	1,132	0,937	1,468	0,035	-0,243
42	0,853	0,716	1,112	0,038	-0,194	42	0,849	0,728	1,118	0,027	-0,198
45	0,816	0,743	1,103	0,053	-0,194	45	0,796	0,756	1,097	0,029	-0,198
50	0,681	0,771	1,028	0,026	-0,186	50	0,695	0,784	1,047	0,028	-0,187
55	0,582	0,780	0,973	0,029	-0,176	55	0,604	0,798	0,999	0,037	-0,182
60	0,489	0,797	0,935	0,024	-0,176	60	0,494	0,807	0,946	0,024	-0,177
70	0,321	0,863	0,921	0,007	-0,188	70	0,333	0,855	0,917	0,020	-0,182
80	0,177	0,953	0,970	0,009	-0,217	80	0,175	0,960	0,975	0,005	-0,217
90	0,007	1,062	1,062	0,007	-0,259	90	0,005	1,066	1,006	0,005	-0,263

Tabelle 17. Versuchsergebnisse Quadratplatte  $B/L = 0,05$  (vergl. Bild 38)Re =  $0,56 \cdot 10^6$ Re =  $0,67 \cdot 10^6$ 

$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$	$c_{M,25}$	$\varepsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_M$	$c_{M,25}$
-2	-0,054	0,052	-0,056	-0,050	-0,013	0,002	-2	-0,051	0,056	-0,053	-0,054	-0,012	0,001
0	0,005	0,050	0,005	-0,050	0,001	-0,000	0	0	0,054	0	-0,054	0,003	0,0025
2	0,062	0,057	0,063	-0,055	0,018	0,002	2	0,061	0,058	0,063	-0,055	0,018	0,0021
5	0,161	0,069	0,166	-0,054	0,039	-0,003	5	0,166	0,071	0,171	-0,056	0,040	0,0027
10	0,336	0,116	0,351	-0,056	0,066	-0,003	10	0,345	0,117	0,360	-0,055	0,068	-0,0218
15	0,518	0,192	0,550	-0,051	0,085	-0,053	15	0,514	0,193	0,456	-0,053	0,086	-0,0506
20	0,690	0,291	0,748	-0,037	0,098	-0,089	20	0,697	0,315	0,763	-0,047	0,102	-0,0889
25	0,844	0,428	0,946	-0,031	0,098	-0,139	25	0,859	0,460	0,972	-0,054	0,109	-0,1343
30	0,991	0,619	1,168	-0,040	0,114	-0,178	30	0,995	0,624	1,173	-0,042	0,111	-0,1821
35	1,069	0,788	1,327	-0,032	0,107	-0,225	35	1,070	0,793	1,332	-0,037	0,107	-0,2260
40	1,100	0,948	1,459	-0,013	0,102	-0,263	40	1,125	0,954	1,475	-0,008	0,101	-0,2677
41	1,105	0,972	1,472	-0,009	0,098	-0,270	41	1,109	1,010	1,498	-0,035	0,112	-0,2624
42	1,095	0,979	1,469	0,004	0,094	-0,274	42	1,079	1,019	1,482	-0,036	0,103	-0,2673
43	0,894	0,809	1,206	0,019	0,089	-0,212	43	0,832	0,790	1,148	-0,010	0,072	-0,2151
45	0,785	0,804	1,123	-0,013	0,082	-0,200	45	0,798	0,795	1,126	0,002	0,070	-0,2115
50	0,714	0,842	1,103	0,006	0,069	-0,207	50	0,731	0,844	1,117	0,017	0,065	-0,2144
55	0,624	0,884	1,082	0,004	0,063	-0,207	55	0,616	0,879	1,073	0,001	0,062	-0,2059
60	0,530	0,922	1,063	-0,003	0,061	-0,205	60	0,521	0,917	1,055	-0,008	0,054	-0,2097
70	0,338	0,946	1,005	-0,007	0,045	-0,206	70	0,342	0,942	1,002	-0,001	0,039	-0,2111
80	0,161	0,958	0,972	-0,008	0,023	-0,220	80	0,162	0,964	0,977	-0,008	0,023	-0,2214
90	0	0,998	0,998	0	0	-0,250	90	0	0,996	0,996	0	0,001	-0,2484

Tabelle 18. Versuchsergebnisse Quadratplatte  $B/L = 0,07$  (vergl. Bild 39)  
 $Re = 0,56 \cdot 10^6$

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
- 2	-0,062	0,071	-0,064	-0,069	0,005
0	0	0,069	0	-0,069	0,003
2	0,062	0,071	0,064	-0,069	-0,002
5	0,156	0,080	0,163	-0,067	-0,006
10	0,315	0,125	0,332	-0,069	-0,020
15	0,482	0,199	0,517	-0,067	-0,048
20	0,648	0,305	0,712	-0,065	-0,093
25	0,783	0,440	0,895	-0,068	-0,140
30	0,908	0,586	1,079	-0,054	-0,184
35	0,989	0,728	1,228	-0,030	-0,213
40	1,024	0,889	1,356	-0,023	-0,247
41	1,010	0,889	1,346	-0,008	-0,247
42	0,823	0,754	1,116	-0,010	-0,205
45	0,738	0,738	1,044	0	-0,195
50	0,681	0,761	1,021	0,033	-0,197
55	0,601	0,792	0,994	0,039	-0,192
60	0,497	0,818	0,957	0,021	-0,189
70	0,315	0,856	0,912	0,003	-0,194
80	0,173	0,975	0,990	0,001	-0,236
90	0	1,071	1,071	0	-0,275

$Re = 0,71 \cdot 10^6$

$\epsilon^\circ$	$c_C$	$c_D$	$c_Y$	$c_X$	$c_{M,25}$
0	0	0,074	0	-0,074	0,002
2	0,065	0,077	0,068	-0,074	-0,001
5	0,160	0,086	0,167	-0,072	-0,006
10	0,323	0,132	0,341	-0,073	-0,018
15	0,485	0,206	0,521	-0,073	-0,047
20	0,654	0,311	0,721	-0,068	-0,095
25	0,788	0,442	0,901	-0,068	-0,142
30	0,915	0,593	1,089	-0,055	-0,187
35	0,988	0,738	1,232	-0,049	-0,222
40	1,000	0,873	1,327	-0,025	-0,247
41	1,003	0,901	1,348	-0,021	-0,255
42	0,788	0,788	1,106	-0,051	-0,215
45	0,757	0,749	1,066	-0,006	-0,202
50	0,698	0,768	1,037	0,040	-0,199
55	0,618	0,806	1,014	0,044	-0,200
60	0,512	0,828	0,972	0,029	-0,198
70	0,319	0,871	0,927	0,002	-0,202
80	0,175	0,972	0,987	0,003	-0,238
90	0,002	1,076	1,076	0,002	-0,279

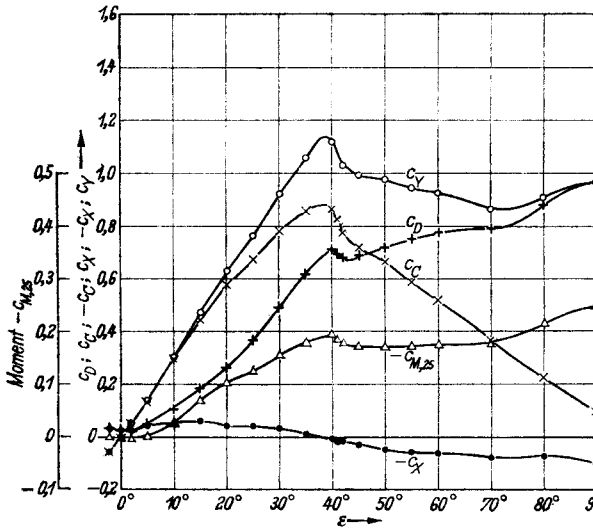


Bild 18. Strömungskräfte am Rechteckruder TMB 075 075 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,69 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 4)

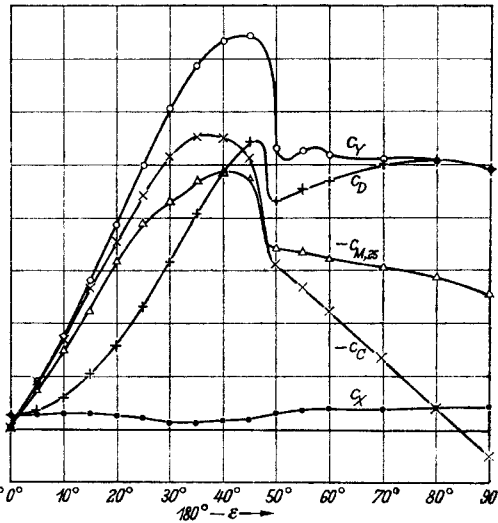


Bild 19. Strömungskräfte am Rechteckruder TMB 075 075 15 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 4)

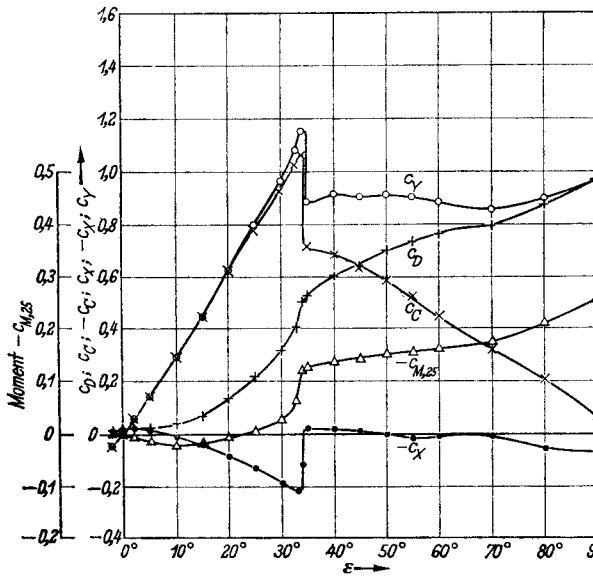


Bild 20. Strömungskräfte am Rechteckruder NACA 0015,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,79 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 5)

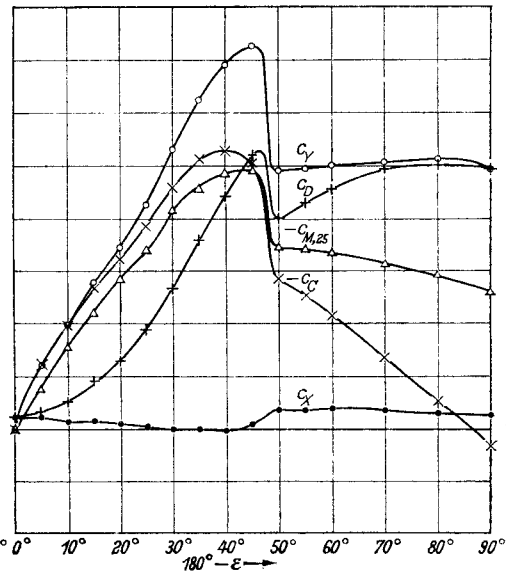


Bild 21. Strömungskräfte am Rechteckruder NACA 0015 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 5)

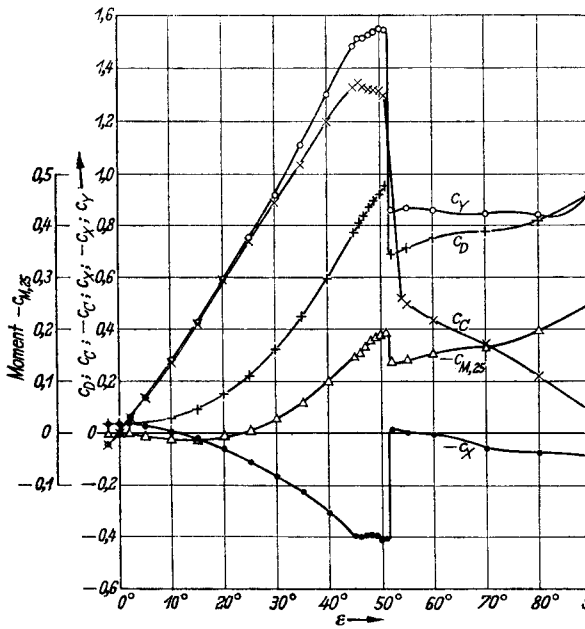


Bild 22. Strömungskräfte am Rechteckruder NACA 0025,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,78 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 6)

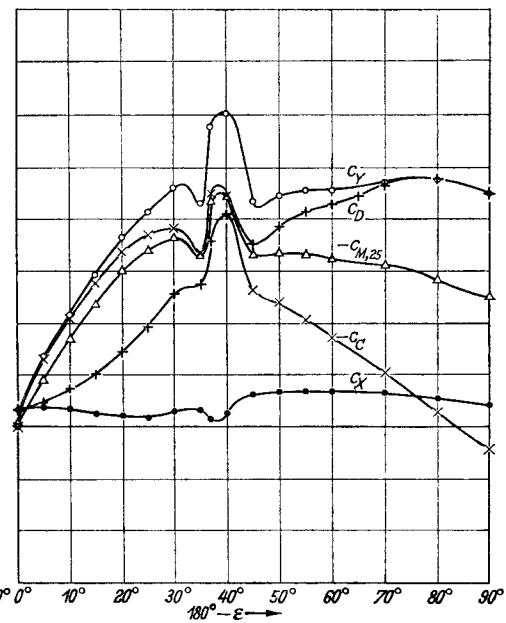


Bild 23. Strömungskräfte am Rechteckruder NACA 0025 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 6)

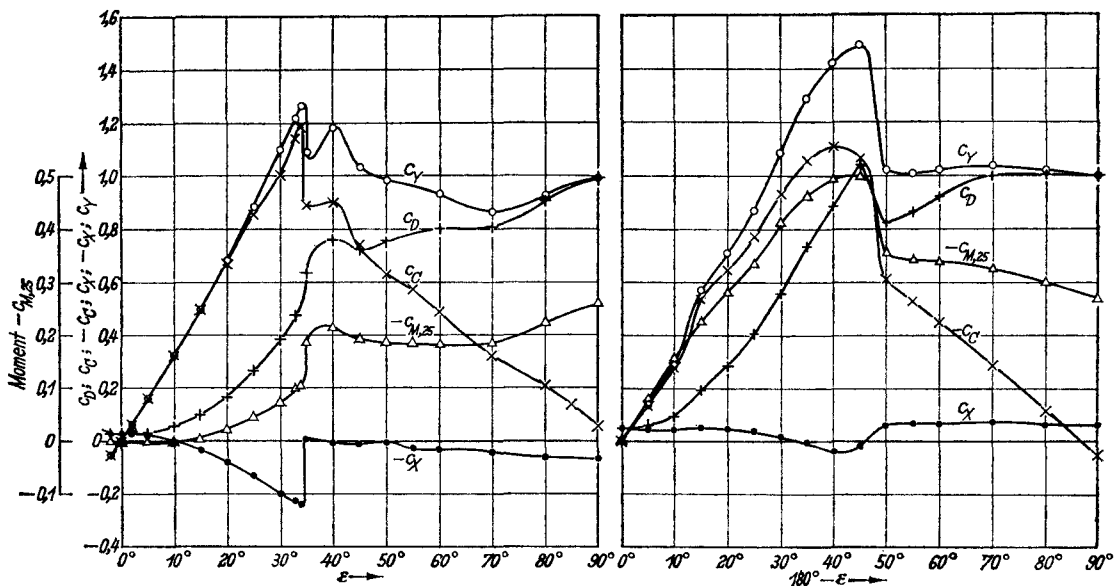


Bild 24. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 58 TR 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,78 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 7)

Bild 25. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 58 TR 15 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 7)

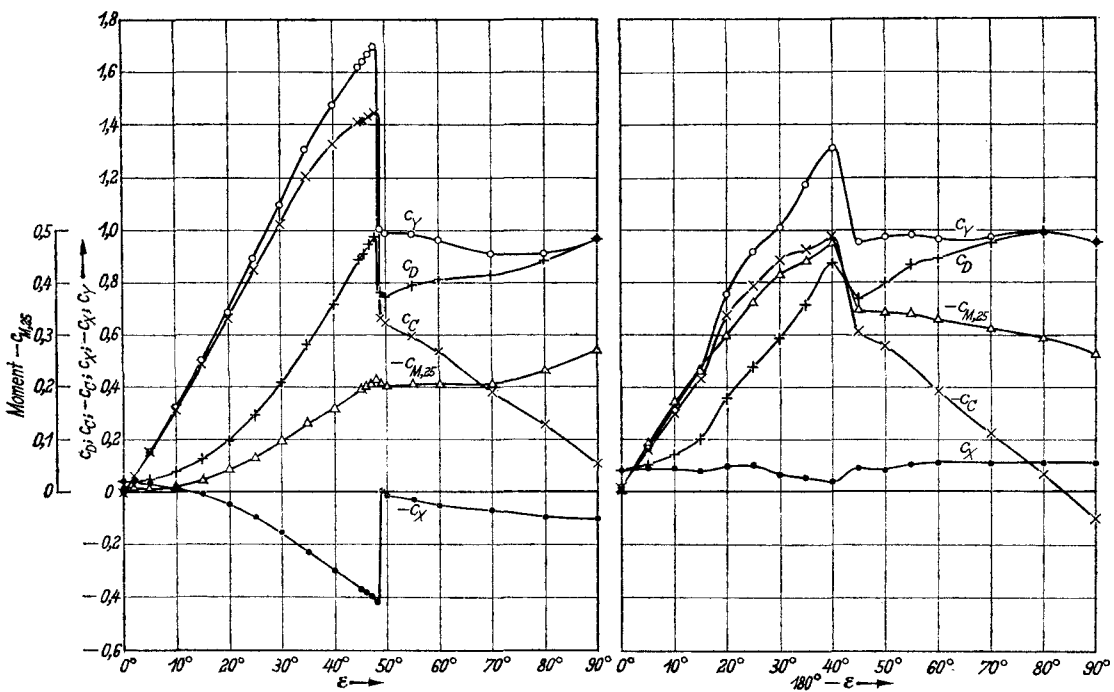


Bild 26. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 58 TR 25,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,78 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 8)

Bild 27. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 58 TR 25 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^6$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 8)

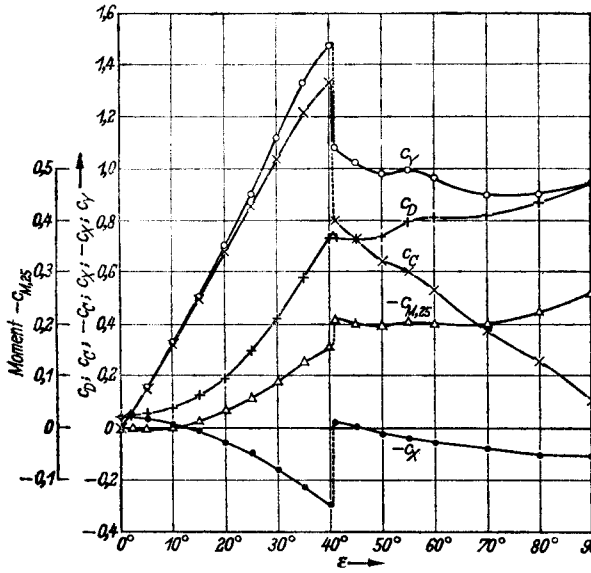


Bild 28. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 61 TR 25,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,79 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 9)

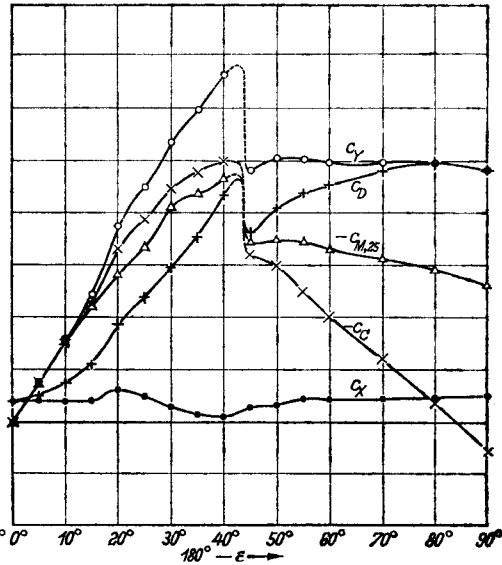


Bild 29. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 61 TR 25 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 9)

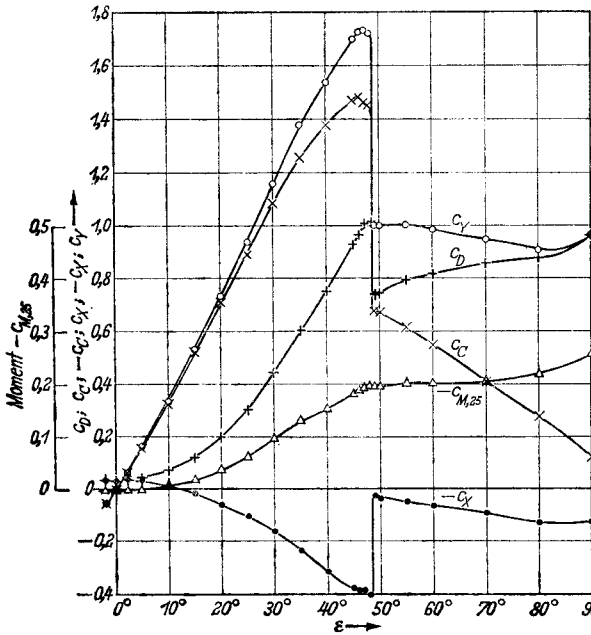


Bild 30. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 62 TR 25,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,78 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 10)

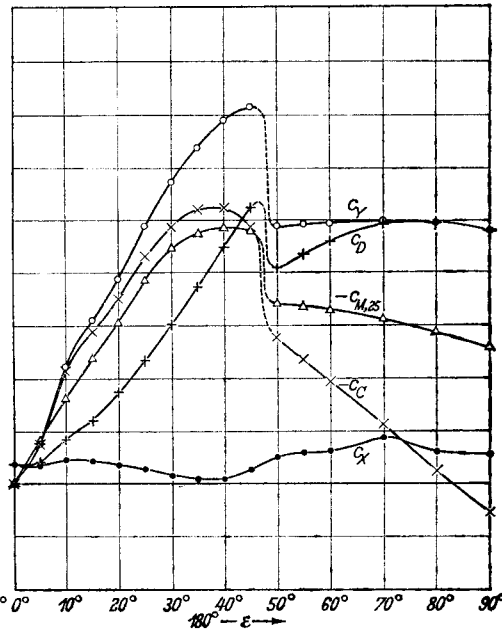


Bild 31. Strömungskräfte am Rechteckruder JfS 62 TR 25 bei Rückwärtsfahrt,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 10)

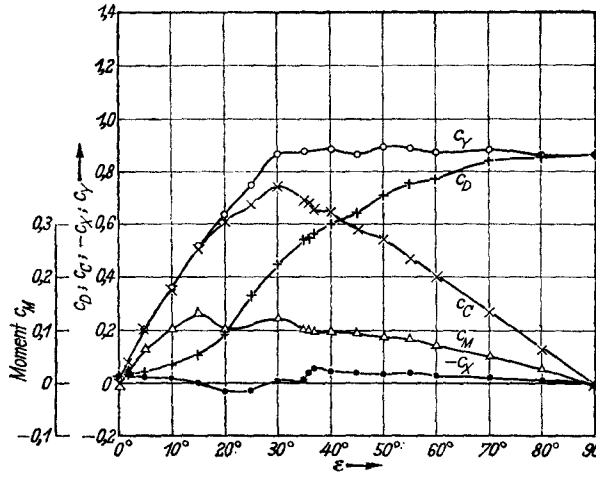


Bild 32. Strömungskräfte am Rechteck-Bugruder mit Ellipsen-Profil JfS 55 BR 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 11)

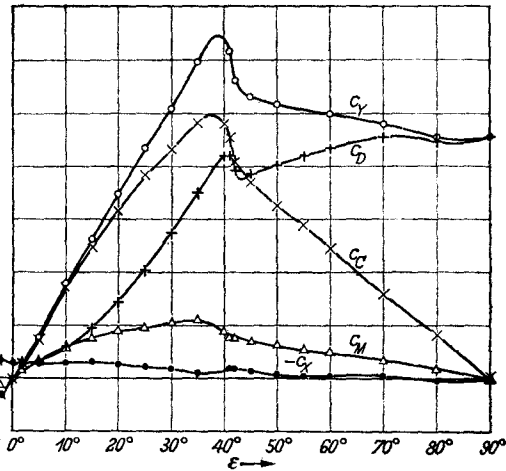


Bild 33. Strömungskräfte am Rechteck-Bugruder JfS 54 BR 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,78 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 12)

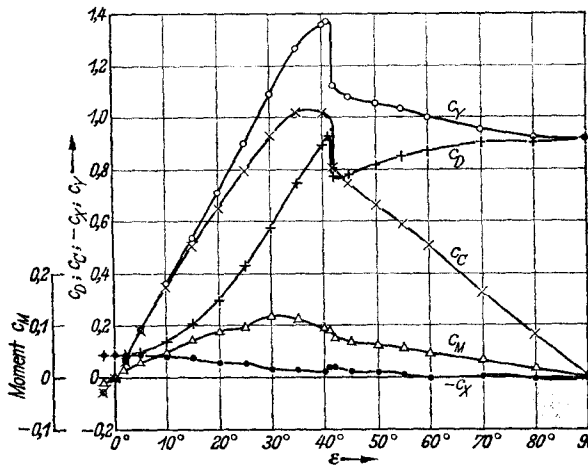


Bild 34. Strömungskräfte am Rechteck-Bugruder JfS 59 BR 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,79 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 13)

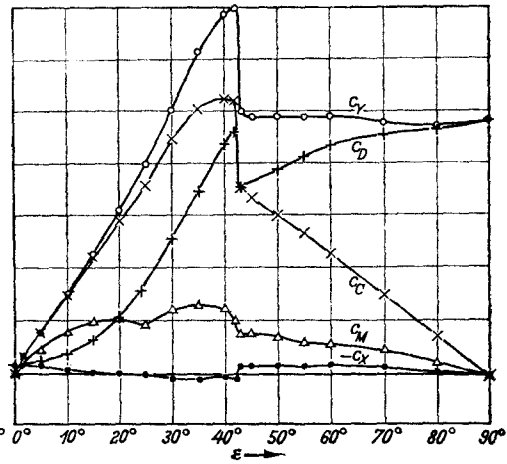


Bild 35. Strömungskräfte am Rechteck-Bugruder JfS 57 BR 15,  $A_R = 1$ ,  $Re = 0,56 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 14)

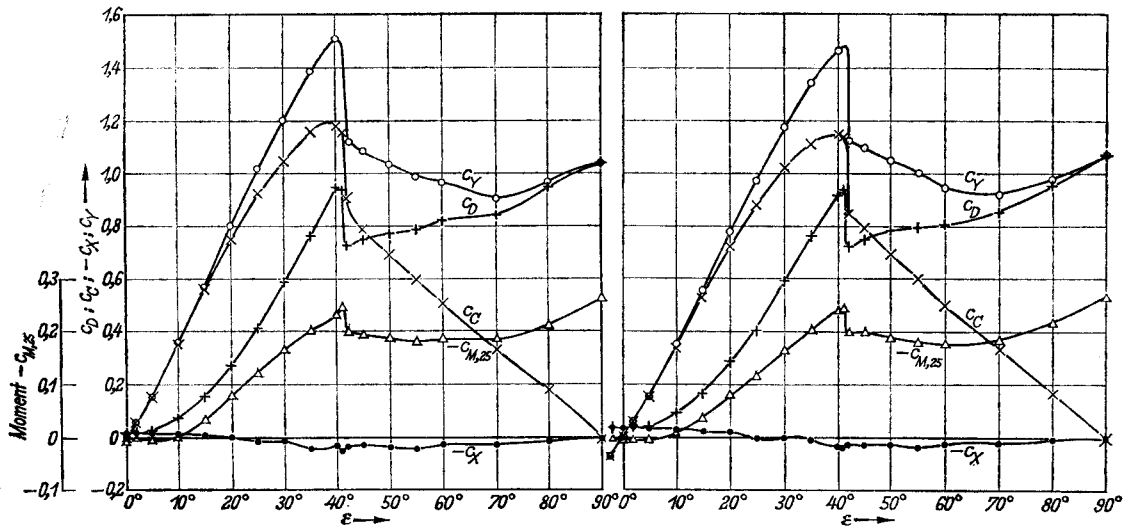


Bild 36. Strömungskräfte an der Quadratplatte  $B/L = 0,015$ ,  $Re = 0,71 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 15)

Bild 37. Strömungskräfte an der Quadratplatte  $B/L = 0,03$ ,  $Re = 0,71 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 16)

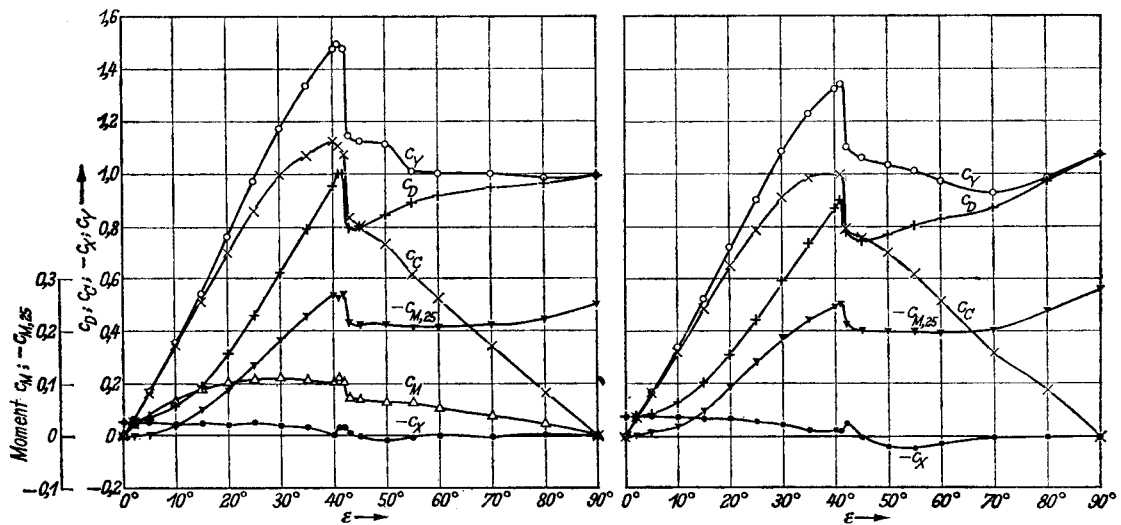


Bild 38. Strömungskräfte an der Quadratplatte  $B/L = 0,05$ ,  $Re = 0,67 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 17)

Bild 39. Strömungskräfte an der Quadratplatte  $B/L = 0,07$ ,  $Re = 0,71 \cdot 10^4$ , JfS-Windkanalmessung, unkorrigiert,  $A_R/A_S = 0,204$ . (Zahlenwerte in Tab. 18)

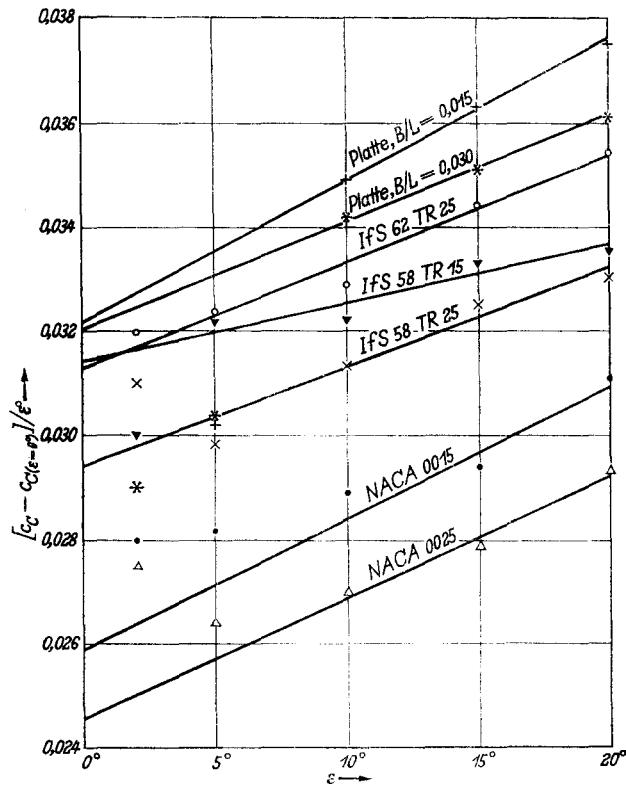


Bild 40. Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Ruderprofile bei kleinen Ruderwinkeln in Geradeausfahrt.  $A_R = 1$ ,  $A_{R1} A_S = 0,204$ .

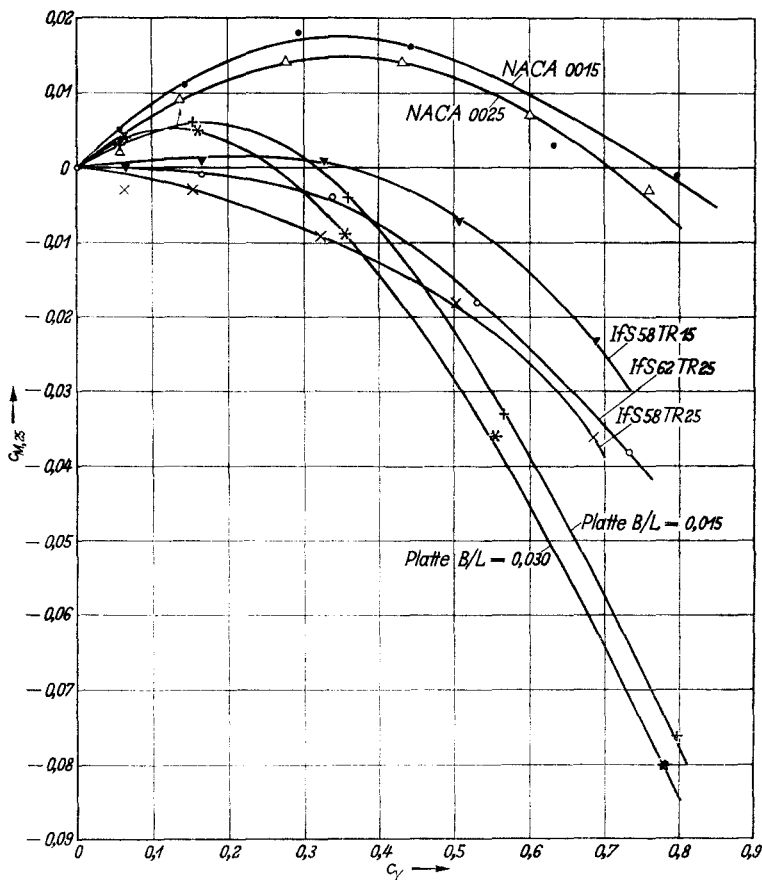


Bild 41. Vergleich des die Wahl der Drehachslage bestimmenden Rudermomentenverlaufes verschiedener Ruderprofile bei kleinen Ruderwinkeln in Geradeausfahrt.  $A_R = 1$ ,  $A_{R1} A_S = 0,204$ .

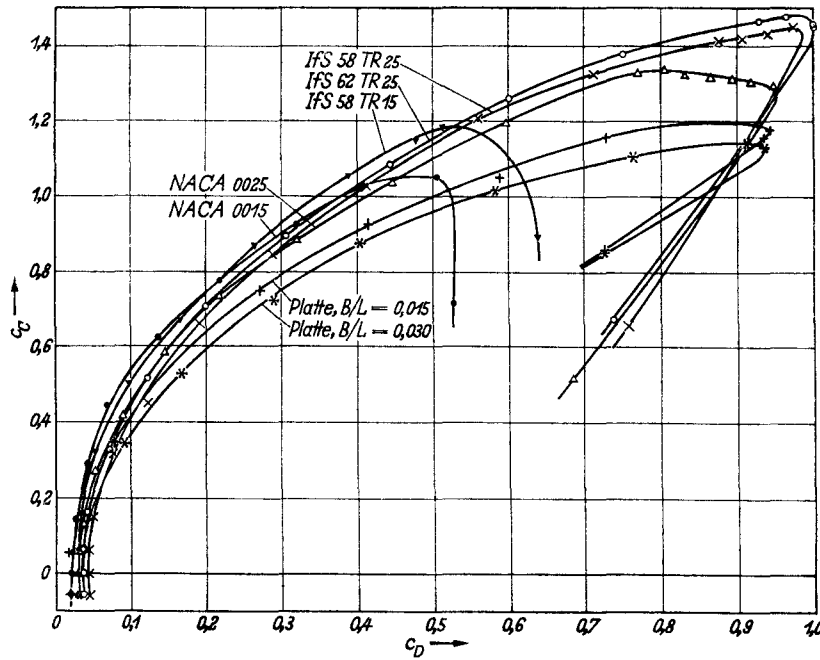


Bild 42. Vergleich des Schleppleistungsbedarfes verschiedener Ruderprofile bei Ruderlage in Geradeausfahrt.  
 $A_R = 1, A_R/A_S = 0,204.$

Für das Profil JfS 58 TR 25, für dessen praktische Anwendung seine robuste Form und seine recht guten Leistungen sprechen, ist in Bild 43 die Polare bei Geradeausfahrt und die Polare bei Drehkreisfahrt mit  $L_L/R_L = 0,5$  gegenüber gestellt. Dabei ist von Geradeausfahrt aus nach den Formeln (5) bis (13) umgerechnet worden. Dabei wurde entsprechend Bild 4 ein Driftwinkel am Schiff  $\epsilon_L = 11^\circ$ , ein Standardwert  $x_{LA}/L_L = -1/2$  und ein  $c_{se} = 1,0$ , wie es sich etwa aus Bild 40 mit dem Verfahren von [26] ableiten läßt, eingeführt. Diese vorsichtige Methode der Abschätzung der Ruderwirkung beim Drehen und Stützen im Drehkreis zeigt bereits die Erfahrungstatsache bestätigt, daß der Schleppleistungsbedarf beim Stützen größer ist als beim Drehen. Ergänzend sind dann noch in Tab. 19 einige Vergleichswerte für Steuerkraft und Schleppleistungsbedarf bei verschiedenen Profilen mit Ruderwinkel  $35^\circ$  in Geradeausfahrt und in Drehkreisfahrt gegenübergestellt. Das Rechenverfahren ist das gleiche wie für Bild 43. Es zeigt sich, daß die Überlegenheit der neueren Profile über die NACA-Profile auch im Drehkreis erhalten bleibt.

Dem Anschluß an fremde Messungen sowie der Darlegung des Einflusses von Seitenverhältnis und Reynolds-Zahl dienen die Bilder 44 und 45. Die hier erzielten Ergebnisse passen sich dem

Tabelle 19. Ruderwirksamkeit und Schleppleistungsbedarf untersuchter Profile für Geradeausfahrt und nach näherungsweise Umrechnung auf eine Drehkreisfahrt

Profil	Re 10 <sup>4</sup>	Ruderwinkel $\delta_R = -35^\circ$			
		Geradeausfahrt		Drehkreisfahrt $L_L/R_L = 0,5$	
		$c_{YRr} = c_C$ Steuerkraft	$c_{NRr} = c_D$ Schleppleistungsbedarf	$c_{YRr}$ Steuerkraft	$c_{NRr}$ Schleppleistungsbedarf
NACA 0015.....	0,79	- 0,622	0,135	- 0,675	0,062
0025.....	0,78	- 0,586	0,145	- 0,637	0,080
JfS 58 TR 15 .....	0,78	- 0,670	0,166	- 0,714	0,087
*) 25 .....	0,78	- 0,660	0,191	- 0,698	0,115
JfS 62 TR 25 .....	0,78	- 0,708	0,199	- 0,742	0,116

\*) siehe auch Bild 43



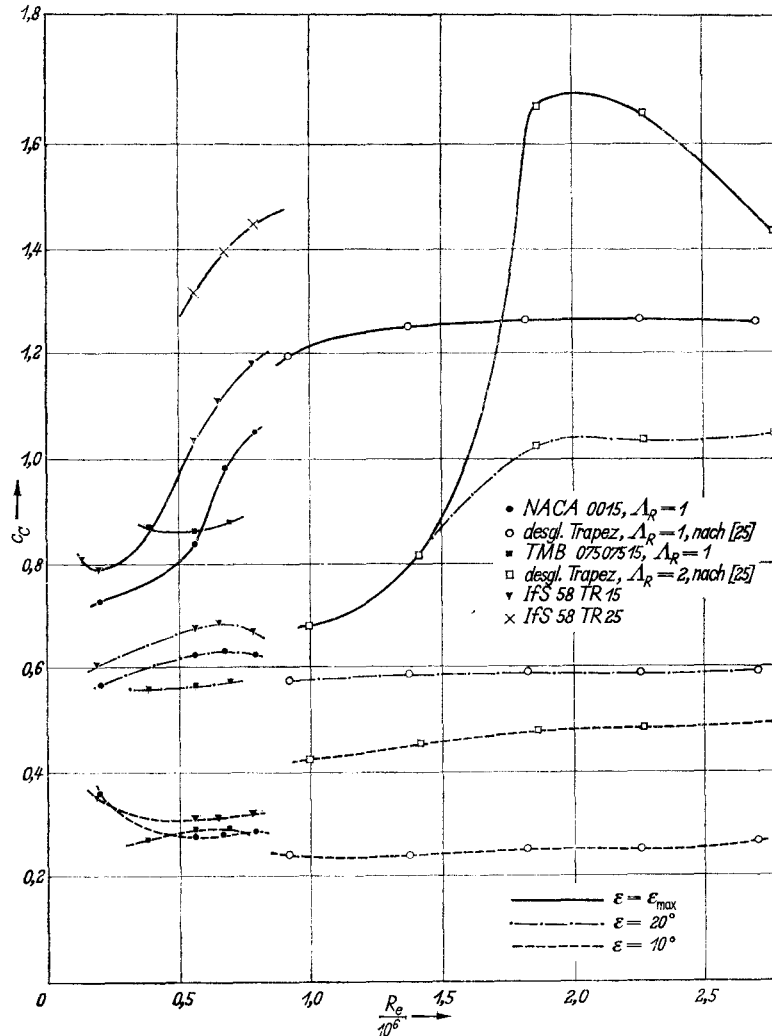


Bild 45. Einfluß der Reynolds-Zahl auf den Querkraftkoeffizienten bei verschiedenen Rudern. Mit Ergebnissen von Thiemann [2] und Whicker + Fehlner [25]

### G. Maßnahmen zur nachträglichen Veränderung von Rudereigenschaften

Unter diesem Stichwort hat nach dem letzten Kriege die Wiederaufnahme der Forschungsarbeiten für Schiffsruderprobleme gestanden. Und auch heute entsteht immer wieder einmal die Aufgabe mit zumeist beschränkten Mitteln die Eigenschaften und die Wirksamkeit eines Ruders zu verbessern.

Häufig wird eine Verbesserung der Kursstetigkeit gewünscht. Das billigste Mittel ist die Anordnung eines sogenannten Stauschwanzes. Aus der umfangreichen Untersuchung von Thiemann [30] ist hier in Bild 46, I ein Beispiel gezeigt. Bilder 46 a, b und c zeigen weiter, wie sich dadurch Querkraft, Widerstand und Moment ändern. Die Querkraft- und damit Kursstetigkeitsverbesserung muß natürlich mit einem gewissen Zusatzwiderstand und einem höheren Rudermoment erkauft werden. Außerdem ist zu beachten, daß die Staukeilwirkung um so größer ist, je schlechter das zu verbessernde Ausgangsprofil ist. Das ist ein eindeutiger Nachteil der neueren Profile; sie sind durch Staukeile nachträglich nicht mehr so gut zu verbessern.

Die Entstehungsgeschichte der an der Hinterkante von Rudern angesetzten Stauschwänze oder Staukeile wird durch die hier gemachten Mitteilungen kaum ganz aufgeheilt werden können. Nach dem letzten Krieg war es mal eine Art Prestigefrage, ob dies Verfahren in der Versuchsanstalt oder auf den Küstenschiffswerften entstanden ist. Das Verfahren der Versuchsanstalt basierte jedoch entwicklungsmäßig zugegebenermaßen auf der für Flugkörper von Herbert

Wagner Jahre zuvor entwickelten Hinterkantensteuerung und ist damit nun etwa 20 Jahre alt. Inzwischen ließ sich jedoch — einem dem Verfasser freundlich gegebenen Hinweis folgend — feststellen, daß bereits im Jahre 1934 das Seebäderschiff „Königin Luise“ im Ausgleich für eine vorgenommene Ruderflächenverkleinerung von den Howaldtwerken Hamburg mit einem Art wechselseitig stufenförmigen Stauschwanz ausgerüstet worden war.

Inzwischen hat die Form des Stauschwanzes manche Entwicklung durchgemacht. Zunächst in der Praxis mit Erfolg angewandt und dann später experimentell untersucht wurde die Kombination von Profilverkürzung an der Hinterkante und gleichzeitigem Ansetzen eines Staukeiles an der neuen Hinterkante, wie es die Form II in Bild 46 zeigt. Damit gelingt es bei geschickter Dosierung dieser Maßnahmen, nicht nur die Querkraft im ganzen Winkelbereich zu erhöhen, sondern zugleich auch noch das Rudermoment herabzusetzen, wie es wieder Bilder 46 a, b und c zeigen.

Es sei nur angemerkt, daß die Rückwärtseigenschaften durch die Staukeile etwas leiden. Andererseits aber muß daran erinnert werden, daß die Steuerfähigkeit auf Rückwärtsfahrt weniger von der Ruderform als von der Ruderanordnung abhängt. Bei engem Schraubenbrunnen oder Zweischraubermittlerudern direkt hinter dem Totholz hilft ein Totholzbeschneiden weit mehr als eine Änderung des Ruderprofils.

Als eine weitere, billige und auch schon erprobte Methode der Ruderänderung ist noch die Verwendung von Endscheiben zu nennen. Dies setzt auf jeden Fall den Beitrag des Ruders zur Kursstetigkeit herauf und bringt allerdings besonders bei größeren Seitenverhältnissen einigen Zusatzwiderstand. Bei kleineren Seitenverhältnissen etwa bei 1,0 oder noch darunter ist der Widerstandszuwachs gering relativ zum Querkraftgewinn; es nimmt aber dann die maximale Ruderwirkung ab, es muß also mit einer Verminderung der stärksten Drehfähigkeit gerechnet werden.

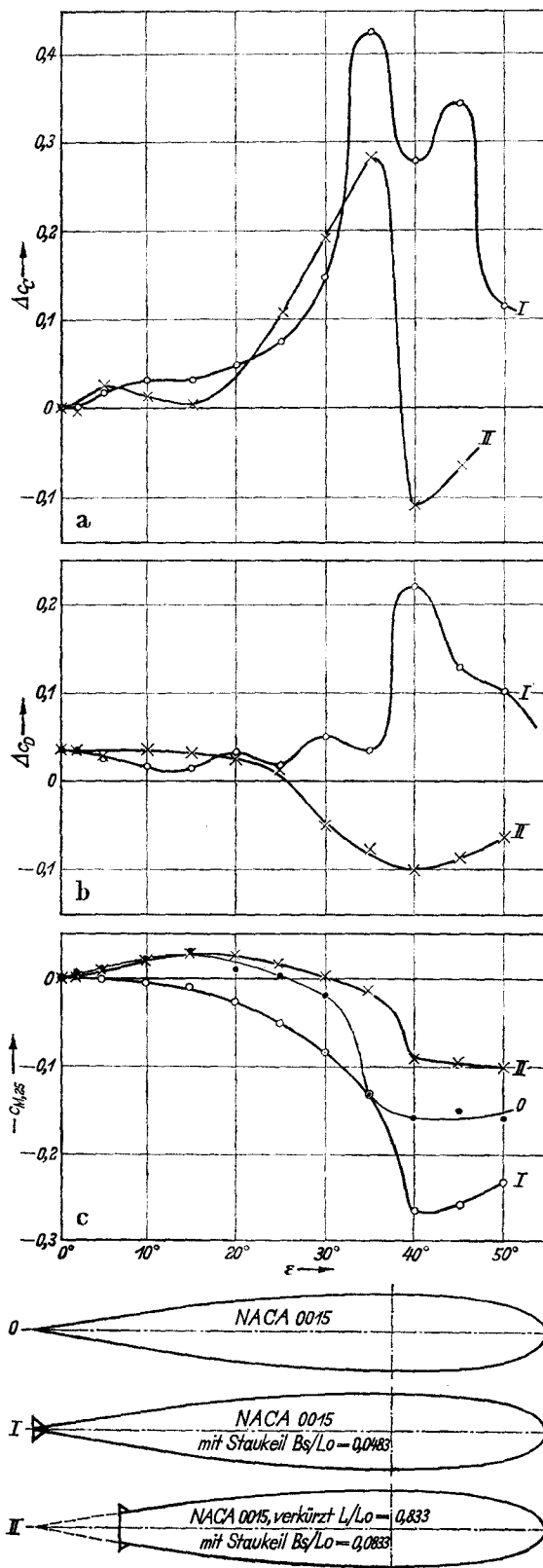


Bild 46. Einfluß von Staukeilanordnungen mit und ohne Profilverkürzung auf die Strömungskräfte am Beispiel des Rechteckruders NACA 0015 nach Ergebnissen von Thiemann [30].  $A_{Ro} = 1$ ,  $Re = (0,63 \text{ bis } 0,77) \cdot 10^4$ ,  $A_{Ro}/A_S = 0,204$   
 I.) Ungekürztes Profil mit Staukeil  $B_s/L_o = 0,0483$   
 II.) Gekürztes Profil ( $L/L_o = 0,833$ ) mit Staukeil  $B_s/L_o = 0,0833$   
 a) Änderung des Querkraftkoeffizienten  
 b) Änderung des Widerstandskoeffizienten  
 c) Änderung des Momentkoeffizienten

### H. Tendenzen zur weiteren Entwicklungen und Untersuchungen von Ruderformen

Das für Balanceruderprofile mit Formen wie JfS 58 TR 25 und JfS 62 TR 25 in etwa gefundene Optimum wird noch etwas zu untersuchen sein im Hinblick auf den Einfluß konstruktiver Wünsche nach einer kräftigen Hinterkante und nach evtl. noch größeren Profildicken. In diesem Zusammenhang wird mit zunehmender Froude-Zahl die Gefahr von Kavitation bzw. Lufteinbruch bei oberflächennahen Rudern zu beachten sein.

Eine Parallelentwicklung für Leitkopfruder und Halbbalanceruder kann auf diesen Ergebnissen aufbauen. Bei den Leitkopfrudern ist als besonderes Entwicklungsziel ein gewisses Maß von Balancierung dringend erwünscht, was bisher am stärksten mit der HSVA-Form nach Bild 74 erreicht worden war.

Im Hinblick auf die Bugrunderentwicklung und im Hinblick auf die Beherrschung der Rückwärtsfahrt mit normalen Heckrudern ist nicht nur die begonnene Entwicklung der Bugrunderformen fortzusetzen. Von wesentlichem Wert ist die Untersuchung des Einflusses des Totholzes vor dem Heckrunder und des Schiffskörpers hinter dem Bugrunder. In beiden Fällen muß ein gewisser Freiraum verbleiben, damit der Querstrom im Nachlauf des Ruders nicht im vollen Maße mit Gegenwirkung den Schiffskörper trifft.

Die hier bereits erwähnte grundsätzliche Beeinflussung der Ruderkräfte durch die Schiffs-drehung, die die ganze Ruderpolare deformiert, ist besonders im Hinblick auf die maximale Ruderwirkung noch weiter zu untersuchen, das das einfache hier gebrauchte Umrechnungsverfahren möglicherweise nicht die gesamte erzielbare Verbesserung erfaßt.

Eine Spezialaufgabe für Modellversuche bei besonders kleinen Reynolds-Zahlen einerseits und für gewisse Schiffstypen andererseits besteht in der Entwicklung von Rudern, die aus baulichen Gründen eine ausreichend Schaftdicke haben müssen, die im übrigen aber wie dünne Plattenrunder wirken sollen. Das hier untersuchte Ruder JfS 57 BR 15 hat in diesem Sinne noch nicht befriedigt, da es gegenüber den Platten gleicher und sogar größerer Kantendicke noch im Nachteil bleibt.

Es bedarf keiner besonderen Erwähnung, daß Zusatzeffekte durch den Propellerstrahleinfluß, größere Reynolds-Zahl und Naturrauhigkeit bei allen weiteren Entwicklungen beobachtet bleiben muß. Erst in diesem Zusammenhang wird die Frage interessant, in welchem Maße eine teilweise Strömungsablösung bei Überschreiten der maximalen Querkraft durch ein beschränktes Nachgeben in der Ruderlage schnell wieder kompensiert werden kann. Wenn darin eine ausreichende Sicherheit geschaffen werden kann, kann die Leistungsfähigkeit der Ruder in einfachster Weise auch dadurch gesteigert werden, daß die zulässige Hartruderlage nennenswert heraufgesetzt wird.

### J. Symbole

Die hier verwendeten Symbole sind nach zwei Gesichtspunkten ausgewählt worden. Einmal sollten sie Verwechslungen mit Symbolen ausschließen, wie sie in früheren Arbeiten aus dem Institut für Schiffbau auf dem Gebiete von Ruder- und Steuereigenschaften verwendet worden sind. Zum anderen sollen sie weitestgehend den Empfehlungen der Internationalen Tankleiterkonferenz (ITTC) entsprechen. Eine zwingende Folge der beiden Gesichtspunkte ist, daß weder die früheren Bezeichnungen voll erhalten bleiben können, noch daß den ITTC-Empfehlungen in jedem Falle gefolgt werden kann.

#### Verzeichnis der Formelzeichen

##### Punkte

$o_A$	Ruderdrehachsmittle in der $xy$ -Ebene des Schiffes
$o_L$	Lateralschwerpunkt des Schiffes ohne Ruder

##### Längen

$A$	Abszissenintervall (Bild 6)
$B$	Maximale Schiffsbreite
$B$	Maximale Profildicke
$B_n$	Profilnasendicke bei $dy/dx = 0$ (Bild 5)
$B_s$	Profilhinterkantendicke
$B_{so}$	Ursprüngliche Dicke an der Hinterkante eines gekürzten Profils
$g$	Länge des geraden Profilschwanzes
$H_n$	Ruderhalsdicke (Bild 5)
$H_R$	Ruderhöhe
$L$	Profillänge, allgemein

$$L_L = \frac{1}{A_L} \int_0^T L_z^2 \cdot dz \quad \text{Laterallänge des Rumpfes}$$

$(L_L/R)_{35}$	Schiffsdrehung bei 35 Grad Ruderlage
$L_{LR} = \frac{1}{A_R} \cdot \int_0^{H_R} L_{Rz}^2 \cdot dz$	Laterallänge des Ruders
$L_0$	Ursprüngliche Länge eines gekürzten Profils
$L_{oR}$	Länge der Ruderoberkante
$L_{pp}$	Länge zwischen den Loten
$L_R$	Ruderlänge
$L_{Rz}$	Länge des Ruders in der Höhe $z$
$L_{uR}$	Länge der Ruderunterkante
$L_{WL}$	Länge in der Wasserlinie des Schiffes
$L_z$	Länge einer Wasserlinie in der Höhe $z$
$n$	Länge der Profilnase
$R$	Bahnradius allgemein
$R_L$	Radius der Bahn des Lateralschwerpunktes
$r_B$	Krümmungsradius der Profilkontur an der maximalen Dicke
$r_n$	Profilnasenradius
$r_s$	Profilhinterkantenradius
$s$	Länge des dickenveränderlichen Profilschwanzes (Bild 5)
$T$	Tiefgang des Schiffes
$x$	Profilabszisse, Ruderlängsachse, Schiffslängsachse
$x_{Bn}$	Abstand der Profilnasendicke von der Vorderkante
$x_{Hn}$	Abstand des Profilhalses von der Vorderkante
$x_{LA}$	Horizontalabstand der Ruderdrehachse $o_A$ vor dem Lateralschwerpunkt $o_L$
$y$	Profilordinate
$z$	Vertikalabstand einer Wasserlinie über Kielbasis bzw. über Ruderbasis
$\eta = y/A$	dimensionslose Ordinate
$\varrho_0$	Konturparameter für die Krümmung an der Profilnase (Bild 6)
$A_L = 2 \cdot T^2/A_L$	Seitenverhältnis des Rumpfes
$A_R = H_R^2/A_R$	Seitenverhältnis des Ruders
$A_{Ro} = H_R^2/A_{Ro}$	Seitenverhältnis des Ruders mit ungekürzter Profillänge
$\xi = x/A$	dimensionslose Abszisse

## Flächen

$A_L$	Lateralfäche des Rumpfes
$A_R$	Ruderfläche
$A_{Ro}$	Ruderfläche bei ungekürzter Profillänge
$A_S$	Strahlquerschnittsfläche in der Meßstrecke des Windkanals
$\tau = A_L/(L_{WL} \cdot T)$	Völligkeit der Lateralfäche

## Volumen

$V$	Raumverdrängung des Schiffes
$\delta_L = V/(L_L \cdot B \cdot T)$	Völligkeit der Verdrängung, bezogen auf die Laterallänge
$\delta_{pp} = V/(L_{pp} \cdot B \cdot T)$	Völligkeit der Verdrängung, bezogen auf die Länge zwischen den Loten

## Winkel

$\delta_R$	Ruderwinkel, positiv beim Heckruder im Sinne der Backbord-Drehung
$\varepsilon$	Schräganströmungswinkel, allgemein
$\varepsilon_A$	Driftwinkel an der Ruderachse allgemein
$\varepsilon_{As}$	Driftwinkel an der Ruderachse, maßgebend für die nichtlinearen Kräfte
$\varepsilon_{Aw}$	Driftwinkel an der Ruderachse, maßgebend für die linearen Kräfte
$\varepsilon_L$	Driftwinkel am Lateralschwerpunkt des Schiffes
$\varepsilon_{Max}$	Anströmwinkel beim Querkraftmaximum
$\varepsilon_R$	Anströmwinkel des Ruders allgemein
$\varepsilon_{Rs}$	Anströmwinkel des Ruders, maßgebend für die nichtlinearen Kräfte
$\varepsilon_{Rw}$	Anströmwinkel des Ruders, maßgebend für die linearen Kräfte

## Geschwindigkeiten

$v$	Relativgeschwindigkeit der Zuströmung am Schiff
$v_R$	Relativgeschwindigkeit der Zuströmung am Ruder
$Re = v \cdot L_R/v$	Reynolds Zahl des Ruders

## Kräfte und Momente

$C$	Querkraft des Ruders senkrecht zu $v_R$ und positiv nach rechts, entgegen der Relativanströmung gesehen
$C_R$	Querkraftbeitrag des Ruders zum Schiff, senkrecht zu $v$ und positiv nach rechts, entgegen der Relativanströmung gesehen
$c_C = C/(A_{Ro} \cdot v_R^2 \cdot \varrho/2)$	Querkraftkoeffizient des Ruders
$c_{C,Max}$	maximaler Querkraftkoeffizient des Ruders
$c_D = D/(A_{Ro} \cdot v_R^2 \cdot \varrho/2)$	Widerstandskoeffizient des Ruders

$c_M = M/(A_{Ro} \cdot L_o \cdot v_R^2 \cdot \rho/2)$	Koeffizient für das Rudermoment auf $L_o/2$ bezogen
$c_{M,25}$	entspr., Koeffizient für das Rudermoment auf $L_o/4$ von der Vorderkante bezogen
$c_{NRr}$	Schleppleistungsbeizahl des Ruders, Gleichung (6)
$c_{se}$	Koeffizient für den nichtlinearen Querkraftgradienten
$c_{we}$	Koeffizient für den linearen Querkraftgradienten
$c_X = X/(A_{Ro} \cdot v \cdot \rho/2)$	Längskraftkoeffizient des Ruders
$c_Y$	entspr. Seitenkraftkoeffizient des Ruders
$c_{YRr}$	Beizahl der Steuerkraft des Ruders, Gleichung (5)
$D$	Widerstand des Ruders, positiv in Richtung der Relativanströmung von $v_R$
$D_R$	Beitrag des Ruders zum Schiffswiderstand
$M$	Moment um die Ruderhochachse auf $L_o/2$ , positiv von oben gesehen, rechtsdrehend
$M_a$	Moment um die Ruderhochachse beliebiger Lage
$M_R$	Beitrag des Ruders zum Gierrmoment um den Lateralschwerpunkt des Schiffes
$M_{,25}$	Moment um die Ruderhochachse auf $L_o/4$ von der Vorderkante
$X$	Längskraft des Ruders, positiv in Ruder- $x$ -Richtung nach vorn
$X_R$	Beitrag des Ruders zur Schiffslängskraft
$Y$	Seitenkraft des Ruders, positiv in Ruder- $y$ -Richtung nach Steuerbord
$Y_R$	Beitrag des Ruders zur Schiffsseitenkraft

## Physikalische Größen

$v$	kinematische Zähigkeit des Strömungsmediums
$\rho$	Dichte des Strömungsmediums

## K. Schrifttum

- [1] Baillitis, E.: Ruder mit versetztem Druckpunkt. Schiffstechnik 1960, H. 36, S. 71/78.
- [2] Thiemann, H. und H. Thieme: Windkanaluntersuchung von Rechteckplattenrudern. Schiff und Hafen 1959, S. 1071/1083.
- [3] Thieme, H.: Ruder. Handbuch der Werften 1952, S. 89/94.
- [4] Rankine: Zitat 1866.
- [5] Thieme, H.: Kennzahlen von Steuereigenschaften. Schiff und Hafen 1957, S. 81/100.
- [6] Lamb, B. J. und S. B. Cook: A Practical Approach to Rudder Design. Shipb. a. Shipp. Record 1961, Sept., S. 334/336.
- [7] Saunders, H.: The Design of the Movable Appendages and Control Surfaces. Hydrodynamics in Ship Design Vol. II, New York 1957, S. 706/737.
- [8] Polonski, W. I.: Elektrische Antriebe auf Schiffen. Berlin 1958.
- [9] Phillips-Birt, D.: The Naval Architecture of Small Craft. London 1957.
- [10] Schoenherr, K.: Steering. Principles of Naval Architecture Vol. II, New Uork 1949, S. 197.
- [11] Newton, R. N.: Turning and Manoeuvring Trials. N.E.C. Inst. of Eng. a. Shipb. Vol. 76, 1960, S. 79/94 und SD 61/SD 70.
- [12] Lindgren, H. und N. Norrbin: Model Tests and Ship Correlation for a Cargo Liner. T. R. I. N. A. 1962, S. 141/181. (read on 5.9.61)
- [13] Schmitz, G.: Anwendung der Theorie des schlanken Körpers auf die dynamische Gierstabilität und Steuerbarkeit von Schiffen. Wiss. Zeitschrift d. Universität Rostock, Math. Nat. Reihe. Heft 2/3 (1961), S. 175/190.
- [14] Laube, R.: Rechenverfahren für vorläufige Bestimmung des Drehkreises für Binnenschiffe. Schiffbau-technik 1961, S. 396/397.
- [15] Shiba, H.: Model Experiments about the Manoeuvrability and Turning of Ships. T. M. B. Report 1461, 1960, S. 49/126.
- [16] Jacobs, E. und K. Ward und R. Pinkerton: The Characteristics of 78 Related Airfoil Sections from Tests in the Variable Density Wind Tunnel. NACA Report 460. 1933.
- [17] Stack, J., A. v. Doenhoff: Tests of 19 Related Airfoils at High Speeds. NACA Rep. 492. 1934.
- [18] Thieme, H.: Systematik für Ruder- und Propellerprofile. Schiff und Hafen 1952, S. 165/166.
- [19] Thieme, H.: Über Grundlagen für den mathematischen Liniennriss eines Frachtschiffes. Schiffstechnik 1956, H. 18, S. 288/299.
- [20] Kwik, K.: Darstellung der Profilform von Schiffsrudern. Schiff und Hafen 1962, S. 853/859.
- [21] Flügel, G.: Vergleichsversuche an Rudermodellen. Schiffbau 1940, S. 167 und S. 189.
- [22] Möckel, W.: Über die Steuereigenschaften von Küstenmotorschiffen. Schiffstechnik 1959, H. 34, S. 217/227.
- [23] Winter, H.: Strömungsvorgänge an glatten und profilierten Körpern bei kleinen Spannweiten. Forschung 1935, S. 40 und S. 67.
- [24] Scholz, N.: Kraft- und Druckverteilungsmessungen an Tragflächen kleiner Streckung. Forschung 1949/50, S. 85.
- [25] Whicker, L. und Fehlner, L.: Free-Stream Characteristics of a Family of Low-Aspect-Ratio, All-Movable Control Surfaces for Application to Ship Design. TMB Rep. 933, 1958.
- [26] Thieme, H.: Zur Behandlung von Ruderproblemen, Schiff und Hafen 1955, S. 605/618.
- [27] Flügel, G.: Neue Erkenntnisse der Ruderforschung. Hansa 1950, S. 1432.
- [28] Oelert, W.: „Theodor Heuss“. Das neue Eisenbahn- und Auto-Fährschiff der Deutschen Bundesbahn. Hansa 1957, S. 2295/2321, Schiff und Hafen 1957, S. 981—923.
- [29] Thieme, H.: BVK-Profil. Blohm und Voss Profilatlas, Ae N 1025 (1944).
- [30] Thiemann, H.: Windkanaluntersuchungen von Rudern mit Staukeilen und Profilkürzungen. Schiff und Hafen 1962, S. 42/60.

Erörterung

Dr.-Ing. Fr. Achenbach, Frankfurt (schriftlich erweitert)

Im Jahre 1943 habe ich mich auf Grund zweier Deutscher Reichspatente mit Versuchen an neuartigen Steuerrudern befaßt, die sich wesentlich von denen unterscheiden, die der Herr Vortragende besprochen hat. Das eine Patent bezog sich auf durchbrochene und gestaffelte Ruderflächen, das andere betraf ein Spreizruder als Schlingerdämpfer.

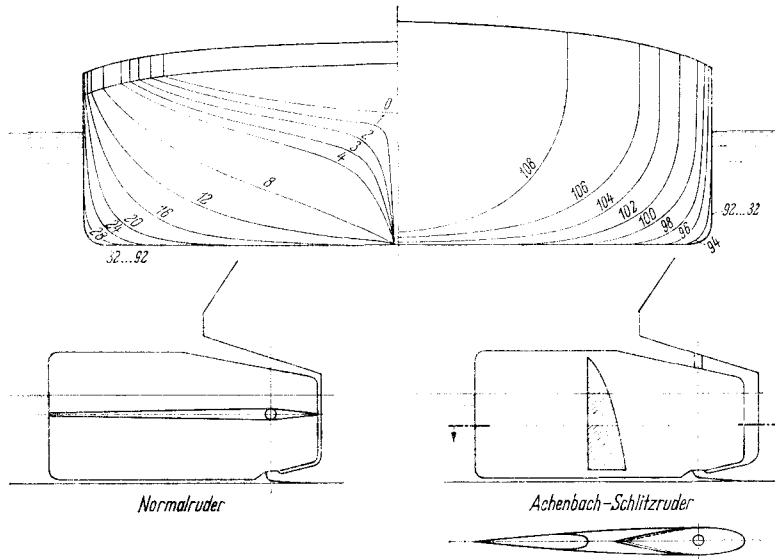


Bild 1. Spandmaß des Kahns und der beiden Ruder

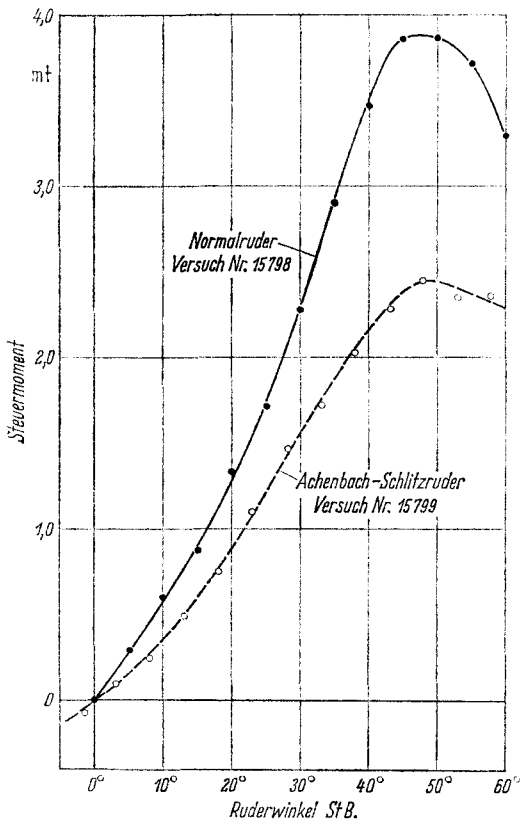


Bild 2. Verlauf der Steuermomente

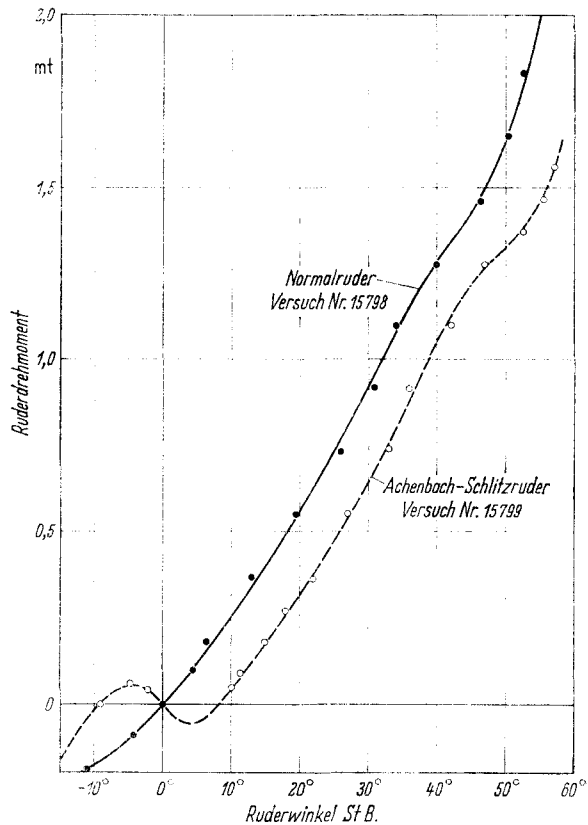


Bild 3. Verlauf der Ruderdrehmomente

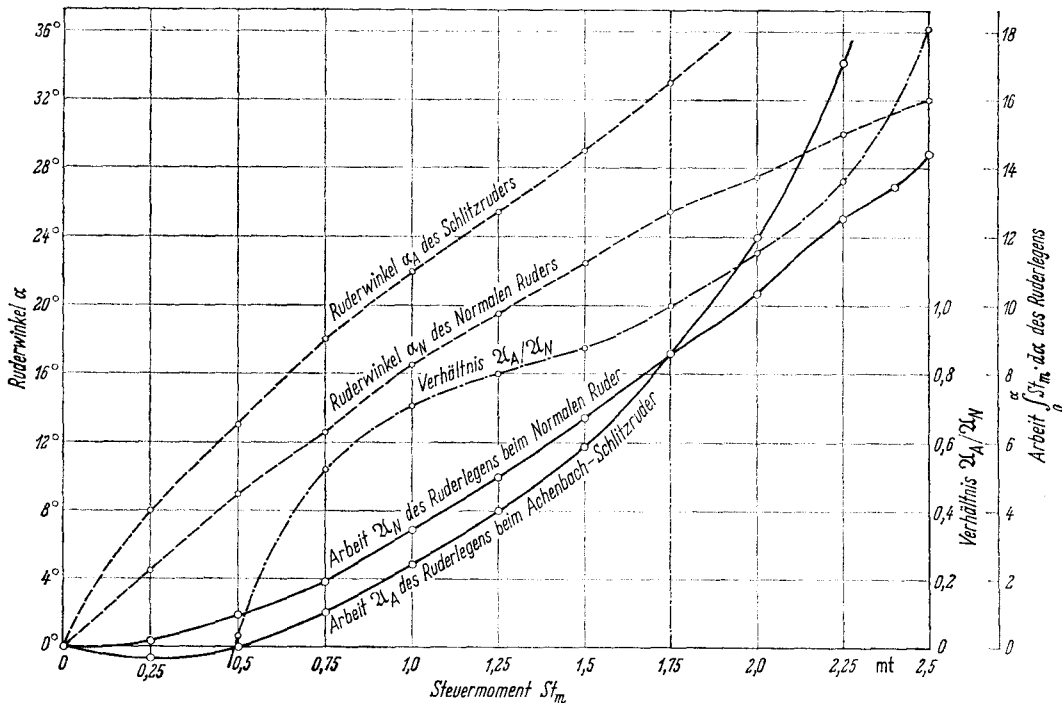
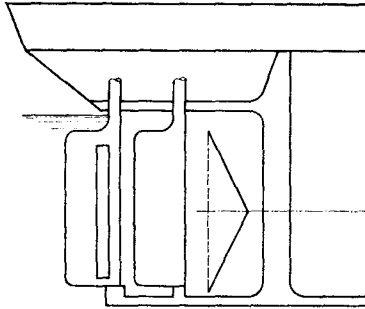


Bild 4. Arbeit des Ruderlegens für beide Ruderarten

Bei den Versuchen mit dem Schlitzruder war das Reichsverkehrsministerium der Auftraggeber, und die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt führte die Versuche aus.

Bei diesen Versuchen wurde das Schlitzruder im Vergleich zu einem normalen Kahnrudder geprüft. Unter Berücksichtigung des Schlitzes jedoch hatte dieses nur 89% der Fläche des Normalruders. Die größte Profildicke des Normalruders betrug  $1/30$ , die des Schlitzruders  $1/11$  der Ruderlänge; sie befand sich bei beiden in der Drehachse, die etwa 17,5% der Länge hinter Vorderkante Ruder angeordnet war.



Die Balancefläche war bei beiden Rudern gleich groß, aber das Schlitzruder zeigte eine stärkere Ausbalancierung, welcher Effekt auf den Schlitz und die bei stromlinigen Profilen vorhandene Druckerhöhung im vorderen Bereich der Strömung zurückzuführen ist. In Abb. 1 sind der Spantenriß des Kahns und die beiden Ruder dargestellt.

Es wurden zwei Serien von Versuchen ausgeführt: Zuerst wurden die Steuer- und Ruderdrehmomente bei geradeaus fahrendem Modell für verschiedene Ruderwinkel gemessen; sodann wurden Schlingelversuche angestellt.

In Bild 2 ist der Verlauf der Steuermomente, in Bild 3 der der Ruderdrehmomente für beide Ruderarten dargestellt.

In Bild 4 habe ich hieraus die Arbeit des Ruderlegens berechnet und für beide Ruderarten graphisch dargestellt. Man erkennt, daß bis 20° Ruderwinkel sich das Achenbach-Schlitzruder leichter legen läßt bei gleicher Ruderwirkung.

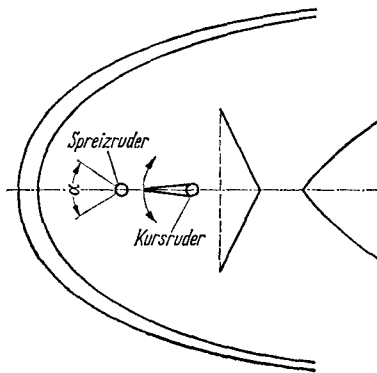


Bild 5.

Zu diesen Versuchen ist zu bemerken: Es sind keine Variationsversuche gewesen, sondern Versuche mit festliegenden Elementen, deren optimale Anordnung nicht ermittelt werden konnte; es wurde nur ein Vergleich zwischen dem Normalrudder und einem aus dem Stegreif entworfenen Schlitzruder gewonnen. Dieses hätte dem Schiffsrumpf angepaßt sein müssen. Hierfür sind die von mir entworfenen Betontanker Beweis, deren Ruder der Form des Schiffes angepaßt waren, und die daher einen vergleichsweise geringeren Fahrtwiderstand sowohl im Versuchskanal (V.W.S.) als auch auf dem Strom (Donau) aufwiesen.

Bei den Schlingelfahrten wird das Ruder auf 0° gelegt, sodann durch einen Steuermotor nach B.B. oder St.B. gelegt und das Ausscheren des Modells verfolgt. Hat das Modell einen Kurswinkel von 10° erreicht, wird das Ruder auf Gegenkurs gelegt und der

Meßvorgang wiederholt. Durch mehrfache Ausführung dieses Manövers ergibt sich die Schlangelfahrt, die für  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $30^\circ$  Ruderlage durchgeführt wurde. Wenn das Ruder in Intervallen von Hartbord zu Hartbord gelegt wird, so entsteht eine turbulente Strömung um das Ruder, die sich so schnell nicht beruhigt, wogegen beim fahrenden Schiff eine fast laminare Strömung zustande kommt, da das Ruder langsam gelegt wird, so daß die Profilierung des Ruders gegenüber dem unprofilierten Normalruder und auch das Vorhandensein eines Schlitzes stärker hervortreten.

Wenn auch diese Versuche eine gewisse Überlegenheit des Schlitzruders angezeigt haben, so wäre es doch gut, wenn der Herr Vortragende seine Untersuchungen auch auf dieses erstrecken würde, da in der Kriegszeit nicht alle meine Vorschläge, Einwendungen und Abänderungen beachtet werden konnten.

Das andere Patent betraf ein Spreizdoppeleruder zum Zweck der Schlingerdämpfung. Je nach der Stärke des Seegangs soll der Spreizwinkel  $\alpha$  eingestellt werden, und durch das Doppeleruder kann die jeweils wirksame Ruderhälfte um so schneller das Gieren des Schiffes und damit das Rollen vermindern, da Gieren und Rollen durch den Schwerpunktsweg miteinander gekoppelt sind, so daß also ein Gradsteuern des Schiffes gleichzeitig auch eine Schlingerdämpfung bewirken muß, wenigstens eine Dämpfung der Rollschwingungen.

Das Kurssteuer bleibt unbeteiligt, aber das Spreizeruder, das vor oder achter dem Kurssteuer eingebaut sein kann, wird durch einen Kreisel gesteuert, der es entsprechend legt. Bei ruhiger See kann der Winkel  $\alpha$  auf Null eingestellt werden.

In Bild 5 ist eine Skizze der Anordnung gegeben. Sie ist noch nicht ausgeführt worden; da sie aber einfacher ist als andere Stabilisatoren, so möchte ich dem Herrn Vortragenden auch Versuche damit empfehlen.

Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. G. Weinblum, Hamburg (Dankwort)

Wenn auch der etwas unglückliche zeitliche Ablauf Sie vielleicht ermüdet hat, so haben Sie doch den Eindruck gewonnen, was auf diesem schon als klassisch angesehenen Gebiet an Arbeit geleistet werden kann und von Herrn Thieme geleistet worden ist. Er gleicht jetzt einem Schwamm, der sich mit allerhand nützlichen Informationen vollgesogen hat; wir dürfen deshalb in den nächsten Jahren eine ganze Reihe von interessanten Ergebnissen von ihm erwarten. Ich glaube, ich kann in Ihrer aller Namen sagen, daß wir Herrn Thieme für seine grundsätzlich und praktisch interessanten Darbietungen sehr dankbar sind, und wir schließen damit diesen Vortrag. (Lebhafter Beifall.)

Dr.-Ing. J. Richter, Berlin (schriftlich eingereicht)

Zunächst möchte ich Herrn Thieme meinen Dank für den Bericht aussprechen. Sie dürfen sicher sein, daß daran nicht allein die Schiffbauer, sondern auch die Schiffsmaschinenbauer und Schiffselektrotechniker ein lebhaftes Interesse haben.

Ein besonderer Punkt meines Interesses liegt bei dem bekannten Unterschied der Drehfähigkeit des kleinen Schiffmodells im Vergleich zum naturgroßen Schiff, wenn man das Ruder maßstabsgetreu bemißt und bei der Festlegung der Modellgeschwindigkeit sich nach dem Froudeschen Gesetz richtet. Ich habe in einem Einzelfall festgestellt, daß die Drehfähigkeit des Modells bei einem Längenmaßstab 1 : 75 um 16% unter der Drehfähigkeit des ebenfalls untersuchten großen Schiffes liegt. Sicherlich können Sie darüber Auskunft geben, was man beim Modellruder hinsichtlich seiner Größe beachten muß, damit sich bei Modellsteuerversuchen die tatsächliche Drehfähigkeit des naturgroßen Schiffes ermitteln läßt.

Dipl.-Ing. H. Thieme (schriftliche Stellungnahme)

Die beiden Vorschläge von Herrn Dr. Achenbach — „Schlitzruder“ und „Spreizeruder“ — waren mir und wie ich annehmen möchte, einem großen Teil der Vortragsteilnehmer, noch nicht bekanntgeworden, so daß die jetzt in der Öffentlichkeit geschehene Wiederholung dieser Vorschläge sicherlich zu manchen weiteren Überlegungen in der Ruderentwicklung wird beitragen können. Beiden Vorschlägen gemeinsam ist, daß sie — hydrodynamisch gesehen —, das Problem des Tandemruders betreffen. Da hierüber wenig Material existiert, hatte ich diese Aufgabe bereits für weitere Programme in Betracht gezogen. Die Empfehlung von Herrn Dr. Achenbach fällt also auf etwas vorbereiteten Boden.

Zu den Versuchsergebnissen mit dem Schlitzruder möchte ich jedoch bemerken, daß ich in dieser Form keinen Vorzug erwarte. Die ermittelte Überlegenheit des Schlitzruders im Rudermoment bei gleicher Wirksamkeit im unteren Winkelbereich beruht weniger auf der Güte dieser Anordnung als auf der willkürlichen Unterbalancierung des zum Vergleich herangezogenen Kahnruders.

Der Vermutung über den dynamisch erzielten Strömungszustand am Modellruder und dem laminaren Zustand am Schiffsruder möchte ich mich jedoch nicht vorbehaltlos anschließen.

Zusammenfassend möchte ich Herrn Dr. Achenbach für die vermittelten Erfahrungen und Anregungen herzlich danken.

Die Frage von Herrn Dr. Richter nach den Methoden zur Berücksichtigung des Maßstabseinflusses auf die Ruderwirksamkeit erweitert in ebenso naheliegender wie willkommener Weise das behandelte Thema. Ich möchte mich also in doppeltem Sinne für diese Bemerkung bedanken.

Zunächst die Feststellung von Herrn Dr. Richter, daß in einem beobachteten Falle die Drehfähigkeit des Modells nur 84 v.H. der Drehfähigkeit des Schiffes betrug. Bei 11 Schiffen der verschiedensten Typen und bei verschiedenen Ruderwinkeln haben beispielsweise A. Suarez und A. Strumpf (Davidson Laboratory Note No. 548) festgestellt, daß die Drehfähigkeitsverhältnisse (von Modell zu Schiff) zwischen 0,7 und 1,14 lagen, wobei die Werte unter 1 ganz stark überwiegen. Die Beobachtung von Herrn Dr. Richter liegt also im Bereich statistisch normaler Erwartung.

Folgende Maßstabeffekte können sich auf die Größe der am Ruder zu erwartenden Kraft auswirken:

1. Der Nachstrom am Ruder ist beim Modell — von an sich unerwünschten und extremen Laminareffekten abgesehen — durchweg größer als am Schiff. Bei nicht im Propellerstrahl liegenden Rudern muß das Modell-Schiff-Drehfähigkeitsverhältnis immer kleiner als 1 sein.

2. Bei Rudern im Propellerstrahl ist bei frei fahrenden Modellen stets eine höhere Zusatzgeschwindigkeit als beim Schiff anzusetzen. Der Effekt ist dem Effekt nach 1. also entgegengerichtet. Das endliche Ergebnis kann daher in beiden Richtungen liegen.

3. Bei ähnlichen Zuströmungsbedingungen zeigt das glatte Modellruder mit kleinerer Reynolds-Zahl normalerweise immer kleinere Kraftbeizahlen als das rauhere Schiffsruder mit der größeren Reynolds-Zahl, so daß also auch hieraus ein Beitrag im Sinne einer Verkleinerung des Drehfähigkeitsverhältnisses zu erwarten ist.

Wegen der nicht unerheblichen Schwierigkeiten, diese Effekte vorweg abzuschätzen, werden normalerweise an Modellversuchen keine entsprechend gerechneten Korrekturen angebracht. Bei gegebener Vorabschätzung kann man dem zu erwartenden Drehfähigkeitsverhältnis unter 1 durch eine unähnliche Vergrößerung der Ruderfläche am Modell oder — bei Beschränkung auf nicht zu große Ruderausschläge — durch Ersatz des Profil-Modellruders durch ein Platten-Modellruder vorbeugen.

Wenngleich etwas über die Frage von Herrn Dr. Richter hinausgehend, sei hier jedoch zur Vermeidung von zu einfachen Analogieschlüssen gleich angefügt, daß die Veränderung der Kursstetigkeit und der Stützfähigkeit durch den Maßstab zwischen Modell und Schiff im Hinblick auf 1. und 2. theoretisch nur etwa in halber Größe zu erwarten ist: dies ergibt sich bei Berücksichtigung der durch die Maßstabeffekte bewirkten Veränderung der Zuströmwinkel am Ruder.